发动机的浪漫

铃木孝 著

赵淑琴 译

徐兴尧 审校

北京理工大学出版社



发动机的浪漫

铃木孝　著
赵淑琴　译
徐兴尧　审校

北京理工大学出版社

内 容 简 介

“发动机的浪漫”一书，记述了发动机问世以来，各个时期的代表性“明星”发动机在汽车、飞机和坦克上的应用及引发的浪漫故事。文章层峦迭起，趣味横生，引人入胜。消除了一般读者不敢问津技术书藉的迷茫，是引导青少年学科学、爱科学的一部好书。

同时，此书又是具有丰富技术含量的力作。对各个时期的代表性发动机上出现的各种故障进行了技术剖析；对影响发动机健康、寿命的常见“病例”进行了诊断。因此对发动机工作者也有一定的参考价值和指导意义。

同时，此书还对发动机的未来发展趋势进行了展望。

图书在版编目（CIP）数据

发动机的浪漫/（日）铃木 孝著；赵淑琴译．—北京：北京理工大学出版社，1996

ISBN 7-81045-143-X　　图字：01-96-0545

Ⅰ．发…　Ⅱ．①铃…　②赵…　Ⅲ．发动机-基本知识　Ⅳ．TK05

中国版本图书馆 CIP 数据核字（96）第 09482 号

エンジンのロマソ

发行——1994 年 1 月 29 日　　增订版第一次印刷

著者——铃木 孝

发行者——綿引好夫

发行所——プレジント社

北京理工大学出版社出版发行

（北京市海淀区白石桥路 7 号）

（邮政编码 100081）

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

*

850×1168 毫米　32 开本　11.75 印张　297 千字

1996 年 7 月第一版　　1996 年 7 月第一次印刷

印数：1—5000 册　　定价：22.00 元

出 版 说 明

为贯彻汽车工业产业政策，推动和加强汽车工程图书的出版工作，中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成，其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括：学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材；学术思想新颖、内容具体、实用，对汽车工程技术有较大推动作用，密切结合汽车工业技术现代化，有高新技术内容的工程技术类图书；有重要发展前景，有重大使用价值，密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书；反映国外汽车工程先进技术的译著；使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中，实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合，专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验，委员会推荐出版的图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

本书由赵淑琴译，徐兴尧审，经专家委员会评审通过、推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

序　　言

“发动机的浪漫”一书，从发动机的构想、发明、发展和现状以及发动机的未来，作了系统而完整的记述。而且，以车用发动机为主线，涉猎了飞机、坦克用发动机的成败与兴衰、其中不乏一些明星发动机及其研制者的轶闻趣事，构成了一支支浪漫曲，足以使我们从中受到裨益与启迪。

此书既不同于一般科普读物那么浅显，又有别于一般技术书籍那么枯燥无味。它生动活泼，富有情趣，可读性强；内涵丰富，涉猎广博，图文并茂，是一部难得的专业性强而又格调新颖的好书。因此，自 1988 年 10 月在日本出版后，受到日本广大读者的好评，印刷 10 次仍不能满足读者的需求，以致于在 1994 年 1 月又出版了修订版。

著者铃木孝先生是日本日野汽车工业株式会社的副社长、工学博士，是在日本国内和国际上都有一定影响的发动机专家。在书中，他将自己亲身经历的发动机开发实践，与前人的经验教训交织在一起，以身示范地谱写出自己的“发动机浪漫”，激励有志于发动机事业的工程技人员，努力去开发更有益于人类的优秀发动机，创成新的浪漫。

徐兴尧

写在中文版出版之际

我的一位老朋友——中国第一汽车集团公司的赵淑琴女士翻译了我的近作。赵女士在我与中国的多次交流中担当翻译，每每恰如其分地表达，印象至深。我深信她的译文肯定会比原文更有光彩。

中国的科学技术始于公元前，迄今为止已有25个世纪了。例如最近成为发掘话题的虢文化以及计时器和指南车，即使在现在看来也有着跨越时空的美妙与精湛。而西欧则是在17世纪以后，受笛卡儿为中心的逻辑、数学理论等逐渐发展起来的思想的影响，科学迅速发展，才出现了产业革命以后今天的繁荣昌盛。

日本进入明治时代，奋起直追西欧技术，才有所进步。战时战后的日本技术就是这样的追赶技术。我本人也是这样过来的，因而有很多宝贵而沉痛的经验教训，在此书中作了点滴的记述，如能对中国的工程技术人员略有参考价值，则感到十分欣慰。

今天，保护地球环境是技术发展不可逾越的课题，面对这一课题，最早的笛卡儿逻辑思想已显露出它的局限性，必须溶入与自然协调的东洋思想。东洋思想主要源于中国。今后，为了向如此艰巨的课题挑战，全世界的工程技术人员作为挑战者中的一员，其地位是非常重要的。此书如能在各国的技术人员沟通思想、携手并进方面有所裨益的话，则感到无尚荣幸。

1995年春

铃木 孝

在增补修订版发行之际

本书出版发行已历时5年。在此期间，收到了包括素昧平生的人士在内的大量来信，叙说了宝贵的意见及其感想。通过这部拙作，如能使各位领略到发动机技术、产品制造及其经营精神之一斑，笔者将感到十分欣慰，在此向各位读者致意。

这次承蒙总统出版社川嶋保先生提出出修订本的邀请，深感荣幸。但是，一旦拿起笔来，发现在短暂的5年时间里，发动机技术突飞猛进，尤其以包括环保对策在内的柴油机的最新研究成果为中心，很有必要对原版本进行修改与再润色。另一方面，对某些历史轶事，根据后来得到的资料以及见闻，有必要要把新的感受加进去或作些修改，并一一加以相应的改动。

现今由于人类文明的迅速发展，使我们得以享受到半个世纪前的人所无法想象的方便。而另一方面，能源消耗的急剧增加正在威胁着地球环境。因此，环保问题越来越重要。反之，包括文明偏重于北半球等问题在内的国际问题越来越复杂化。面对这一背景，现在更应该追求新的“产品制造”途径。即，一是追求更高层次的创造；二是追求与大自然协调一致。创造的出发点就是源于笛卡儿理论的思想和长期以来形成的与大自然协调一致的日本精神。要说这两种思想，唯有扬弃才是追寻的途径。而这一途径不外乎是继承立足于人道主义的前人哲学思想而憧憬与追求新的浪漫。

此书如能对有志之士有所裨益，则倍感欣慰。

在修订版出版之际，由衷地向鼎力相助的川嶋保先生、整理和提供资料的ACE（新燃烧系统研究所）和日野汽车工业股份有

限公司的各位同仁，以及给予我许多指教的各位人士致谢。

1993 年 10 月
铃木 孝



前　言

路易十四世修筑的雄伟而富丽堂皇的凡尔赛宫，其庭园中有长达1英里的运河、几个喷泉，以及各种各样的树木。为了给他们供水，每天必须从塞纳河提取大量用水。以减轻供应如此大量用水的笨重的体力劳动的人道主义原则为基本出发点，赫更斯萌发了对发动机的构想。以此为始，经过许多人的流血流汗，甚至流泪，发动机终于得以发明和发展。尽管各个时代开发发动机的背景不同，但人类对错综复杂的技术本质的憧憬与挑战过程乃是一部博大而动人的浪漫史。

今天，科学技术发达，发动机已被广泛地应用于科学技术的各个领域，作为人类文明的一部分，它给人类提供了无限的方便。但另一方面，作为方便的代价，却又以公害和安全等许多问题，迫切需要我们去解决。包括发动机在内的汽车，这一整体形式，已作为人类社会功能的一部分固定下来，人们与之朝夕相处，共同生存。因此，公害和安全等问题的解决，无需回到赫更斯那里，人道主义本身即是出发点，其技术本质依然充满着理想与浪漫。在生存于技术，又培养技术的过程中，回首前辈们披荆斩棘的历程，探求蕴含着的许多挑战与成败，把它作为一种精神食粮，激励我们向面临的问题挑战。并且，使发动机这一人类文明的产物与上苍赐予我们的无以替代的大自然协调一致，以开拓更加美好的未来社会。现在，我怀着这一心情，决定写出题为“发动机的浪漫”的拙稿出版。

此书是在前著《发动机的心》出版（未在市面上销售）以后，将零零碎碎写下来的东西加以整理，补充进去，并对时隔8年的

前著，因时间流逝而需要修改的内容，作了一定的修改和润色。把专业性的内容乃至脱离正论的叙述作为附录放在各章的末尾。您如果有兴趣，就请一读，如果不合口味，不妨略过去。

在此向热心促进此书出版的垣添尚平先生、岩本诚先生，向曾给予《发动机的心》以出版机会，从而为此次出版打下基础的二见富雄先生、久世乔平先生以及为此书提供和整理资料的有关公司及各位，并向不辞辛劳出版此书的总统出版社的川嶋保先生致以深切的谢意。

1988年盛夏

铃木 孝



摘自《发动机的心》序言

1969年冬，我第一次去欧洲，所见所闻，皆耳目一新，惊诧不已。当时，直接喷射式的柴油发动机在日本尚处于胎动期，彼我技术相差之悬殊，历历在目。

在这种新奇之中，一天，我抽空参观了道依茨博物馆，看到了1910年本茨的航空发动机，十分惊讶。那上面装用的发动机的燃油泵，不正是我在1966年，几乎整个夏天不眠不休地苦战得出的结论吗？可它却早已若无其事地展示在这里。当时，日野汽车工业公司送到富士竞技场的赛车——日野普罗特，一直为每次练习时所发生的原因不明的功率低下而大伤脑筋，我费了九牛二虎之力才得出其原因在于燃油泵的结论。而在这台1910年的发动机上却早已解决。侥幸的是，日野普罗特在那次竞技中获胜了，真实情况请容另叙。

那一次，我还走访了玛莱活塞公司的博物馆，再一次感到震惊。我发现为了降低油耗，我搞的发明（不谦虚地说，它能够适用于各种发动机，在数学上作为一般解），竟然也在半个多世纪前，作为一个特解，即一个例子，若无其事地展示在那里。

我对博物馆的兴趣就是这样开始的。而且，现在才逐渐认识到：过去在一个技术潮流中忘我地挣扎着的我们，有必要站在潮流上面的桥上看一看。

如果站在桥上，既能看得见潮流的上游，又能看得见技术的发展趋势。并且，过去的一个个宝贵的历史事例，会给予我们现在将要完成的技术进步提供无言的启示。此刻，我满怀激情，把如我所捕捉到的这种启迪，首先向每天呕心沥血于新技术挑战、拼搏的人们以及有志今后进行挑战的人们，以此拙文作一介绍。

目　　录

1. 发动机是怎样诞生的?

发明，来自人类对幸福的追求，来自解决凡尔赛宫用水的构想。

汲水人赫更斯的构想

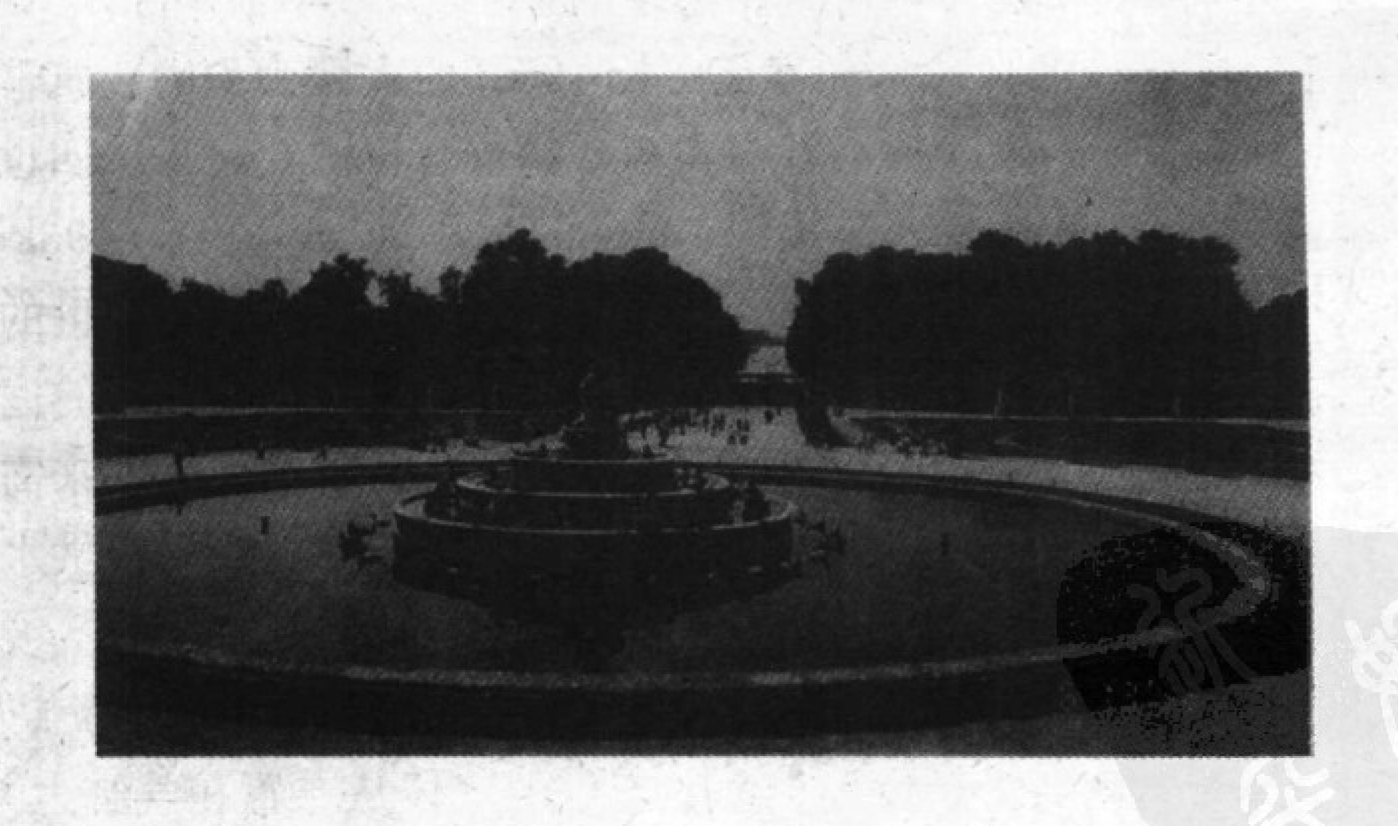
有记载说，是伯撒·本兹夫人带着两个孩子，毅然驱车行驶，完成了首次汽车长距离行驶的创举。历史上第二个勇敢者是阿曼德·普乔特，他驾车从巴黎到达面向多佛尔海峡的法国港口城市——布雷斯特。从布雷斯特乘快车去巴黎，在距巴黎市的蒙帕尔纳斯车站还有20分钟路程的地方，就可以远远地望见左边座落在绿荫浓郁中的凡尔赛宫。

众所周知，凡尔赛宫是路易十四世于1667年至1688年，用21年时间建成的。凡尔赛宫是由长425m的大殿为主的建筑群组成。为了能在船上款待上万名宾客，畅饮开胃酒，路易十四世从大殿前到正门开凿了一条长约1mile的运河（1mile＝1.6093km）（东京站的红砖票房长320m）（照片1-1、1-2）。路易十四世的汲水人克里斯琴·赫更斯(Christian Huygens)负责供给宽阔的庭院里的树木浇水和喷水池的喷水。不难想象，从塞纳河提水来需要付出多么艰巨的劳动。他日夜地思索着，有没有更省力的供水方法呢？终于在1673年绘制出下面的内燃机草图（图1-1）。

图1-1A B为气缸，C为放置在气缸里的火药。一给火药点火，活塞D就上升到图示位置，爆发产生的气体从布置在气缸上部、具有单向阀作用的革制排气口E F排出。于是，气缸内迅速地接近真空状态，而活塞D由于大气压的缘故，静静地下降后，提起负荷g（比如水）。



照片 1-1　凡尔赛宫大殿（1667～1688 年建成）



照片 1-2　凡尔赛宫。从正门眺望长达 1mile 的贵宾游览用运河

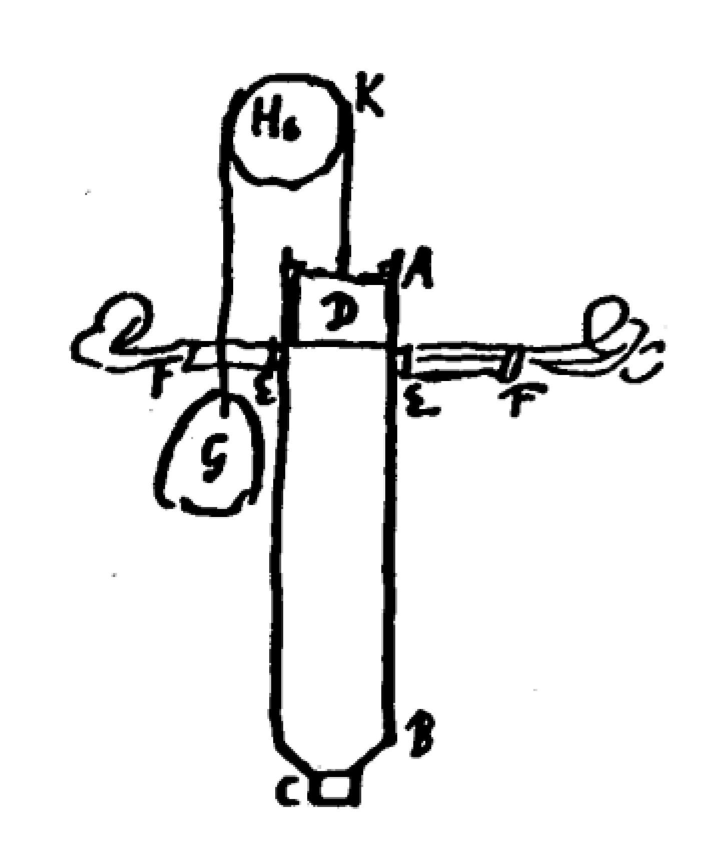


图 1-1　赫更斯绘制的发动机设计方案图（1673 年）

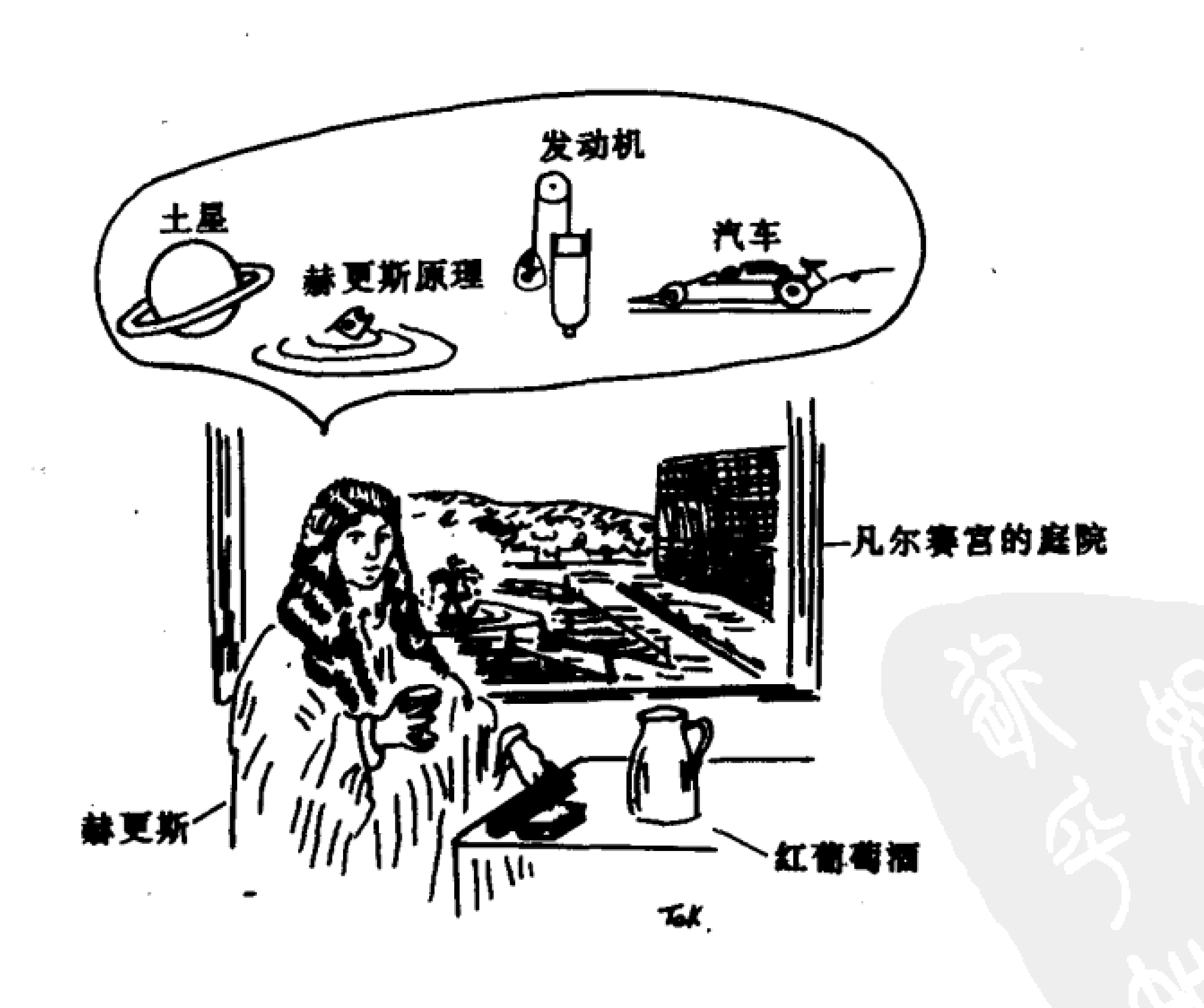


图 1-2　优雅的汲水人及其构想（1629～1695 年）

传说赫更斯的这一构想，是由于附在给其兄的信上才得以保存下来，流传后世的。

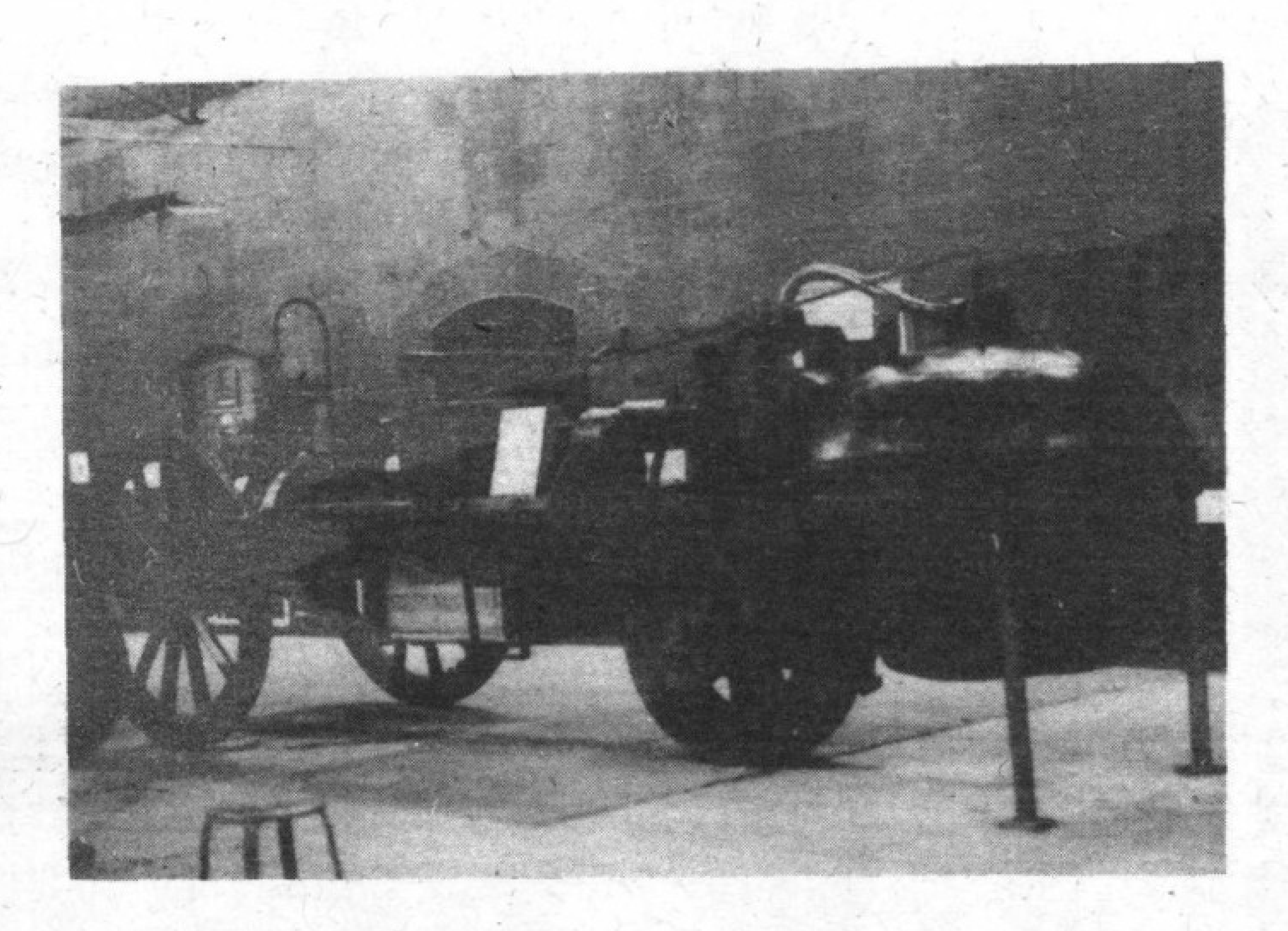
单凭这一构想，就可以看出赫更斯不同凡响。此外，他还发现了“赫更斯原理”和土星的光环，发明了带齿轮的摆柱式座钟，成为世界闻名的荷兰物理学家。在他提出发动机构想的那一年，作为一个外国人，第一个被吸收为巴黎学士院院士。据说赫更斯呕心沥血设计出来的抽水装置，在方案面世后，历时 12 年才于 1685 年，用 14 台直径 12m 的水车完成，终于满足了凡尔赛宫一天 $3000m^3$ 的用水要求。日野汽车工业公司日野厂平均一天的用水量为 $4000m^3$，可见凡尔赛宫的用水是多么的奢侈。

然而，单从内燃机构想这一点来讲，意大利的天才雷欧那德·达芬奇（Reonard Davinti）于 1509 年绘出了类似的火药发动机的草图。但是，这也和达芬奇的许多构想一样，没有过渡到试制的迹象，而且赫更斯也无法知道这一切，赫更斯的发动机是他独自的构思。

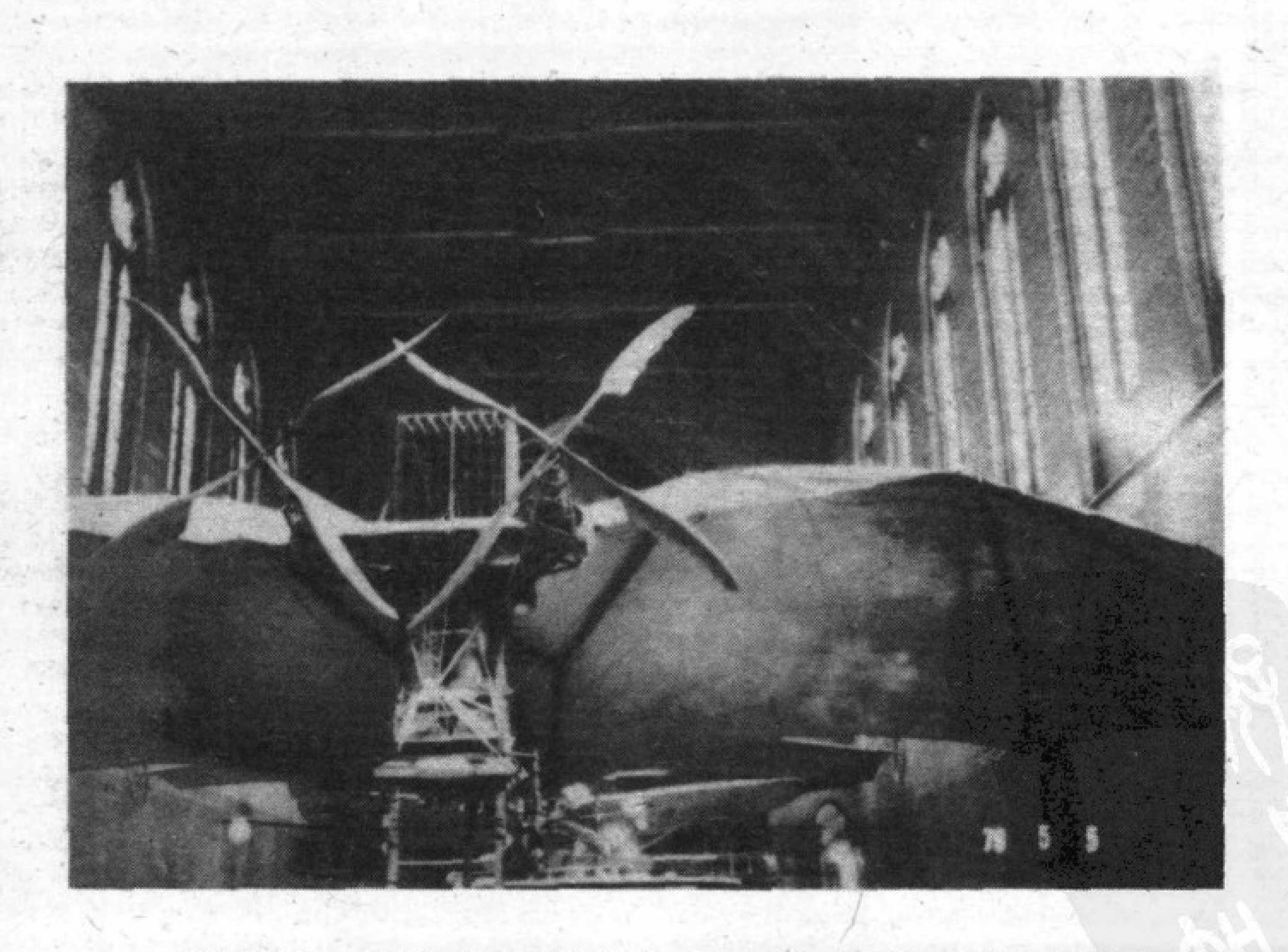
向蒸汽发动机发展

住在同一城市——巴黎的丹尼斯·巴平（Denis Papin）是位工艺师，但当时正在医学院读书。他对赫更斯的构想进行了研究，试图从火药发动机演变到蒸汽发动机。巴平的想法，后来又经过许多人的改进，于 1712 年作为纽科门蒸汽机面世，而后又作为詹姆斯·瓦特（James Watt）的蒸汽发动机得以发展。

大约在 1763 年至 1771 年期间，亚瑟夫·库克诺兹（Jaseph Cugnots）首先把蒸汽发动机装在作为交通工具的汽车上。把蒸汽发动机用于飞机的尝试中，声名显赫的是克莱门特·艾德尔（Clement Ader），那是在 1890 年。该蒸汽机汽车和蒸汽机飞机的实物现都陈列在巴黎国立工艺博物馆（照片 1-3、1-4）。但是，在奥托发动机出现以前，这两者都没有达到使用的地步。



照片 1-3　库克诺兹的蒸汽汽车（1770 年）（巴黎国立工艺博物馆）



照片 1-4　克莱门特的蒸汽飞机（1890 年）（巴黎国立工艺博物馆）

总之，发动机如同其它动力的发明、发展一样，是出自借助机械的力量来代替笨重的体力劳动的需要。这一想法是由被委派运送浇灌宫廷院内树木和喷水池用水的一个人的“问题意识”而萌生。后来，又经过许多工程技术人员一步步地把它推向前。

正如发动机史第一页所记述：新的技术是通过问题意识和创造精神来实现的。

2. 胎动期的杰作——纽科门蒸汽机

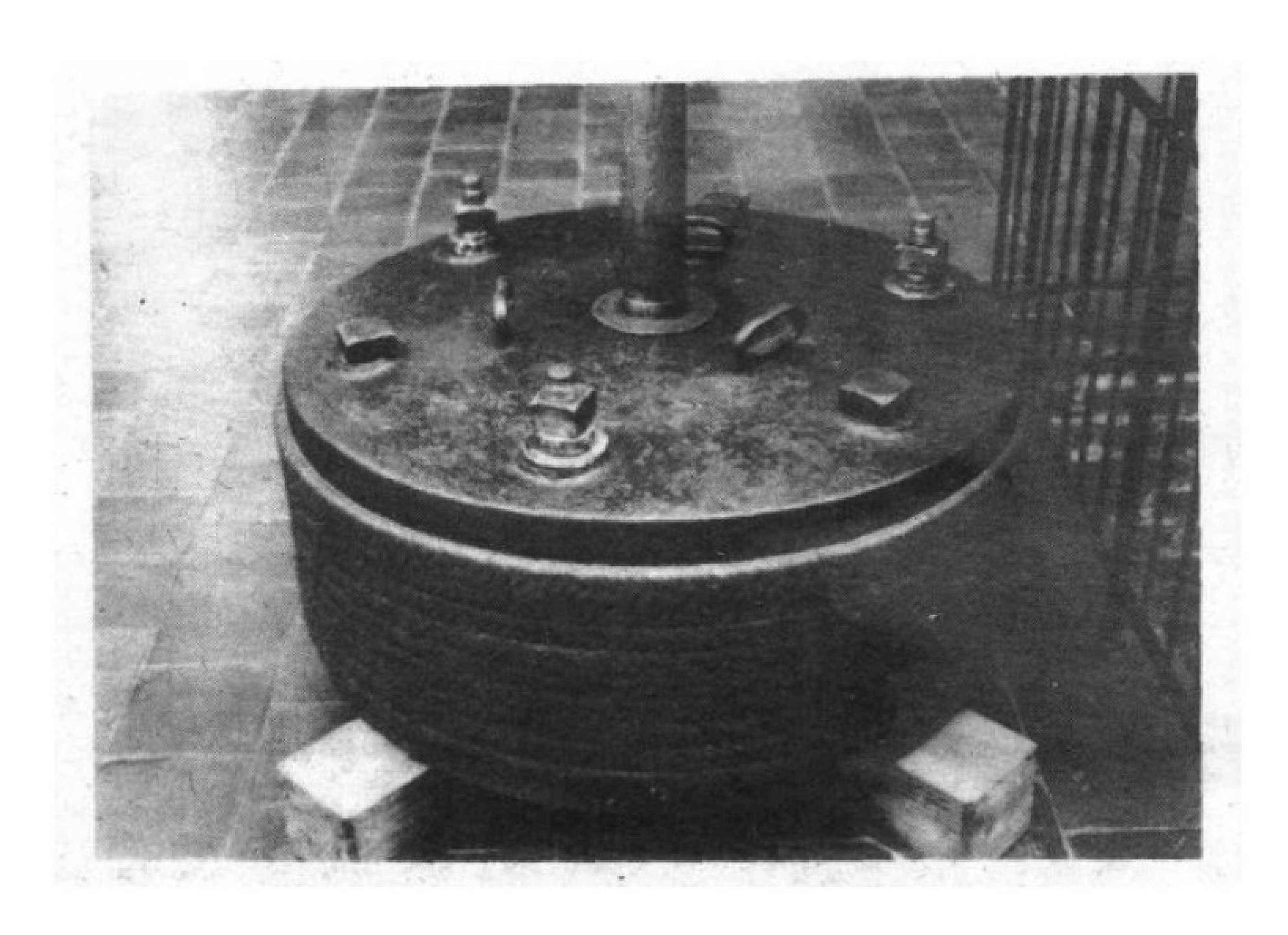
广收情报集大成，成功的关键在于一位年青人的执着追求。

走进伦敦科学博物馆，抬眼便可以望见象游泳池的跳台一样高大的纽科门发动机，人们无不为之发出惊叹（照片 2-1）。



照片2-1　巨大的纽科门发动机，展示的为弗兰克斯 1791 年制作的。缸径 1454mm、行程 2100mm、25hp、18 行程/分（伦敦科学博物馆，缸径为气缸直径，行程为活塞行程，hp 为马力单位符号①，1hp＝745.6999W）。

① 译者注：原书为 PS。



照片 2-2　纽科门发动机的活塞部分（道依茨博物馆）

托马斯·纽科门（Thomas Newcomen）本是一位出生于英国达特茅斯的铁匠。他在赫更斯和巴平设想的基础上，借助 Dr·狄萨库利尔斯（Dr. Desaguliers）发明的喷射装置，在铅管工兼玻璃工约翰·卡利的帮助下，对当时已经完成的托马斯·沙瓦利（Thomas Savery）的火力发动机进行了彻底的改进。

如图 2-1 所示，将气缸和活塞置于古老的酿造用的锅上，把锅加热产生的蒸汽导入气缸。活塞刚一上升，喷射装置就向气缸里喷水。同时一关闭阀门，气缸里的蒸汽就冷却，变成水。气缸内的压力变成负压。于是，活塞靠大气压力下降，抽水泵通过悬臂工作。您大概注意到了吧，纽科门发动机的工作原理，与赫更斯的构想雷同，只不过是把火药换成蒸汽而已。

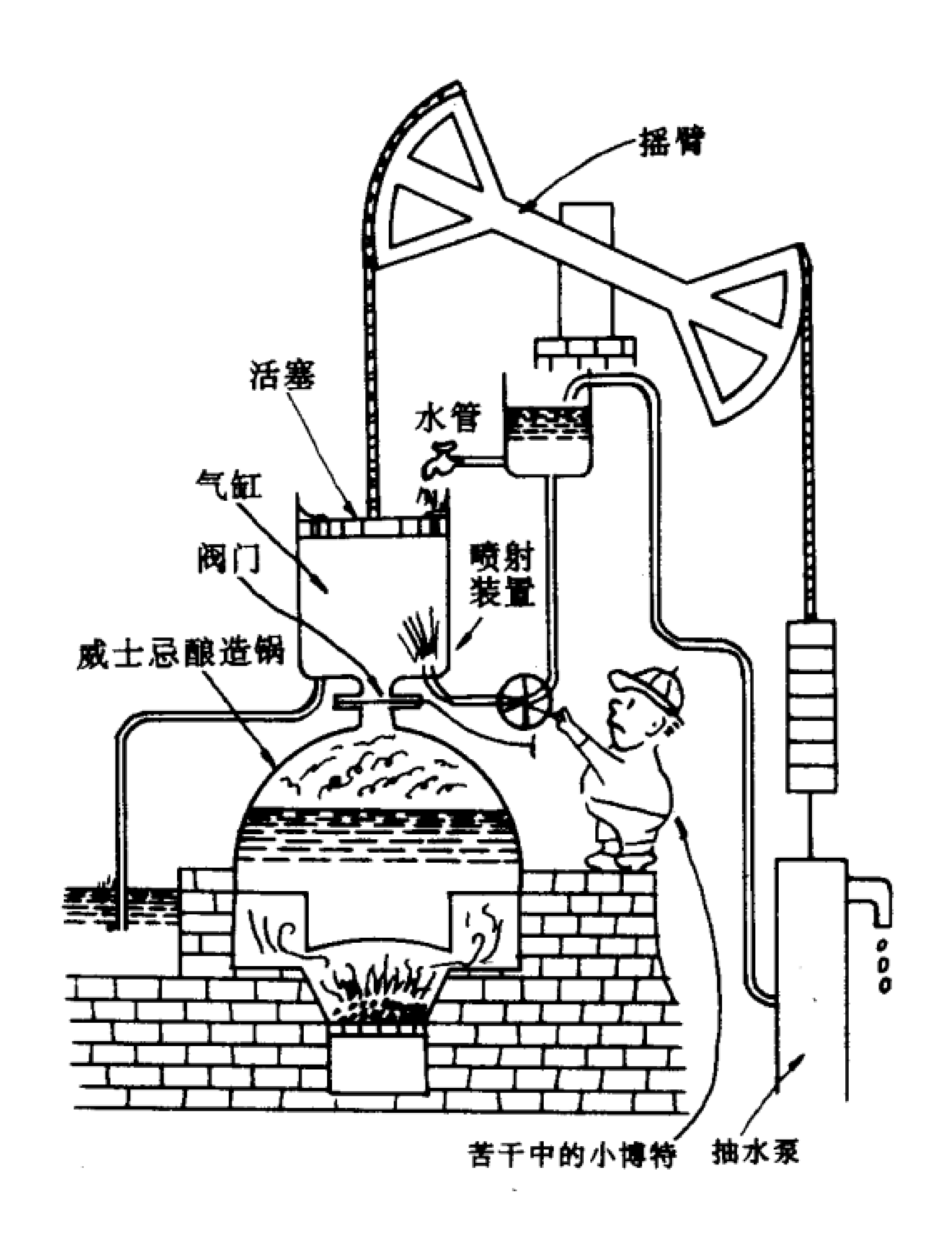


图2-1　纽科门发动机（1712年）由于小博特的自动化建议，完成了发动机的制作

据说，每个行程都进行阀门开关和喷水的机构，最初是由雇来照看发动机的一名叫做汉弗利·博特的少年发明的。他是将金属卡子和细绳系在杠杆上，反复琢磨，才想出来的好办法。即是由布置在气缸上面的水管里的水来冷却活塞上部的革制密封条。

纽科门发动机的诞生，使英国的煤矿从地下水的困惑中解脱出来，产量迅速增加。不久，英国便爆发了产业革命。小博特的执著追求牵动了一场世界历史上的大革命。

3. 由模型诞生的瓦特蒸汽发动机

由故障分析诞生了新发动机。

1763 年格拉斯大学教学用的纽科门发动机坏了，掌管实验教具的詹姆斯·瓦特（James Watt）受命进行修理。

就是因为这个缘故，瓦特的发动机看上去与纽科门发动机十分相象，人们公认蒸汽机的发明者不是纽科门而是瓦特的理由是，瓦特发动机第一次奠定了从大气压发动机脱颖为利用蒸汽本身压力的蒸汽发动机的基础。

且说瓦特拿来的纽科门发动机，虽然是按实机一样大小制作的。但是瓦特对该发动机运转不灵的原因进行了系统的分析，即进行了故障分析。在发动机发生故障或损坏时，系统地、有条理地查找原因的方法叫做故障分析，这是改进发动机等一切产品不可缺少的手段。下面介绍两个典型的事故分析事例。

白鸽号事故分析

1954 年秋，狄·哈比伦德·慧星客机在空中坠毁的事故分析堪称故障分析的典范。而早在 1932 年日本航空公司的德内纳·瓦尔·白鸽号水上飞机的空中坠毁事故的分析也具有典型意义。那次事故没有一个目击者，调查是从散落零件的确切位置和状态的记录入手的，耐心而大胆地反复进行细致的回收、重新装配，设定假设，反复实验，最后水落石出。

在慧星号飞机的坠落事故调查中，最初人们普遍认为问题出在主翼设计上。而英国空军研究所的 P·B·沃克却力排众议，坚持认为事故是由于施于机体的反复压力负荷引起的疲劳破坏。他



照片3-1　世界上最早的喷气式客机——狄·哈比伦德·慧星号。隐藏着戏剧性的历史，如今静静地停泊在达克斯福特机场的一个角落里



照片3-2　客机的水压试验。由于沃克的提议，将飞机的巨大机体放入水槽中，接受反复压力试验，这成为开发试验的标准。(照片为YS11的试验，由日本航空机制造株式会社提供)

坚持将飞机的巨大机体放入水中，反复地对机体施加压力，用整个机体作再现实验。假设毕竟是假设，难免有错误。沃克不怕出

错，坚持自己的主张，他做了一个巨大的水槽，进行疲劳试验，终于证明了他的假说是正确的。事故的原因也大白于天下（照片 3-1、3-2）。

我曾拜读过寺田寅彦 1935 年 7 月在"中央公论"上发表的随笔。文中详细地介绍了白鸽号故障分析的逻辑思维过程。故障分析是由东京大学航空研究所的岩本周平教授领导的小组负责的。他们首先从复原损坏件入手，制作了与原件一样的零件，然后压弯，折成各种形状，多次反复实验，直到再现出与事故件一样的断裂面为止。

反复实验，几经失败，空中坠毁的原因终于澄清了：由于施加在机翼上的反复变动负荷，拉线螺丝的固定钢丝被剪断，螺钉松动，拉线脱落，辅助翼的安装部位松驰，辅助翼开始摇晃，先是水上飞机在飞行中发生激烈振动，最后坠落。最后的假说是通过风洞试验再现的。读着读着，心潮随着文章的情节起伏，仿佛听到了实验队伍的欢声。

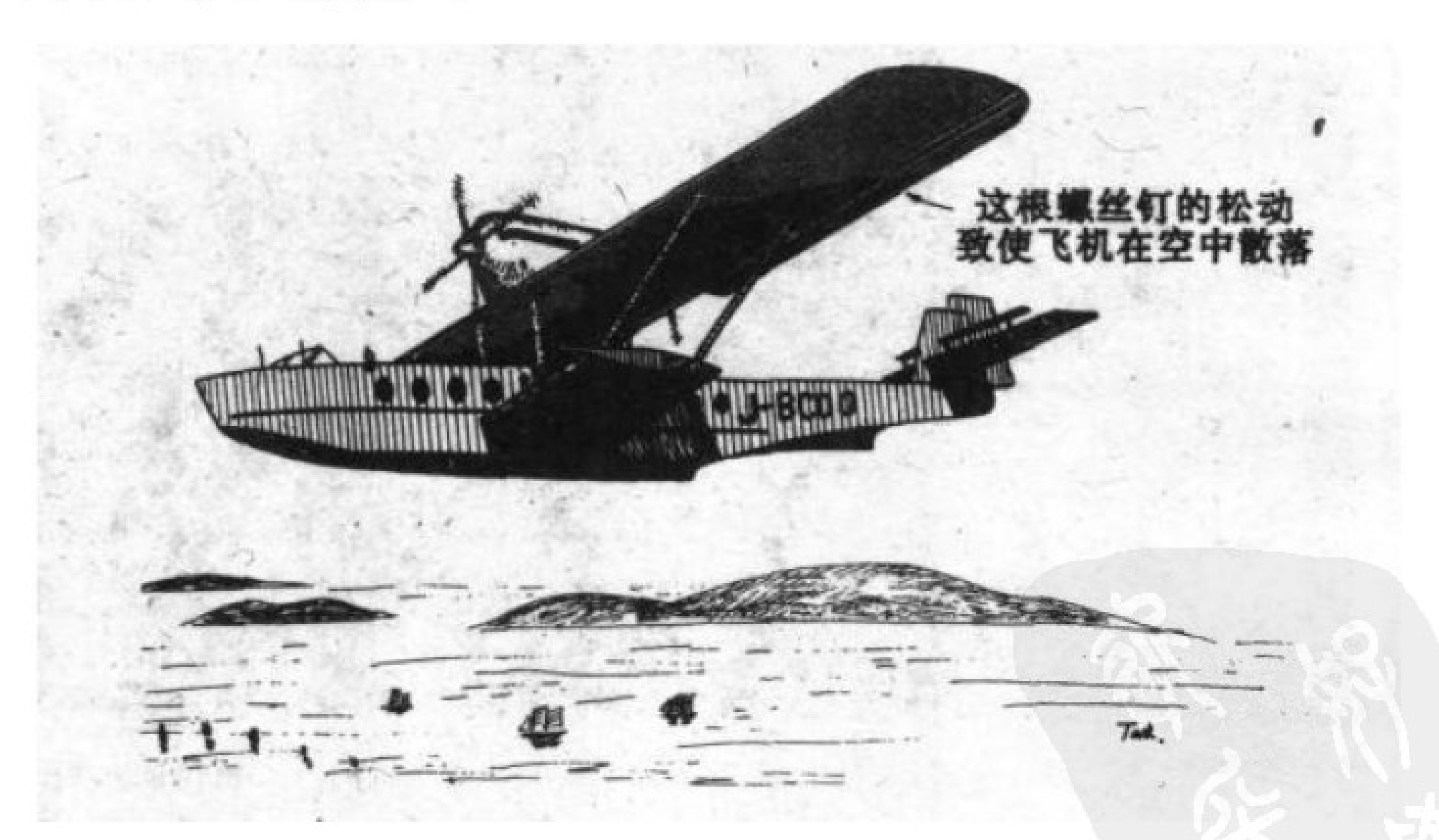


图3-1　德内纳·瓦尔水上飞机。只因一根小小螺丝钉的松动，这架飞机刹那间便坠毁了

所有技术问题的调查，都是因为不厌其烦地耐心实验，不怕

失败，大胆设想，积极实验求证才获得成功的。白鸽号事故给我们以启迪：设计人员和制造人员都不可忽视拉线螺丝和固定钢丝这样小小零件的作用。只因为一颗小小螺丝钉的松动，一架美丽的水上飞机便瞬间坠毁了（图 3-1）。

瓦特的构想

瓦特拿回来的纽科门发动机首先让人感到其蒸汽量似乎不足。用现在的知识来讲，就是由于模型发动机的缸壁太厚，气缸温度上升所需的蒸汽量增加，下一个瞬间冷却用水也要增加。

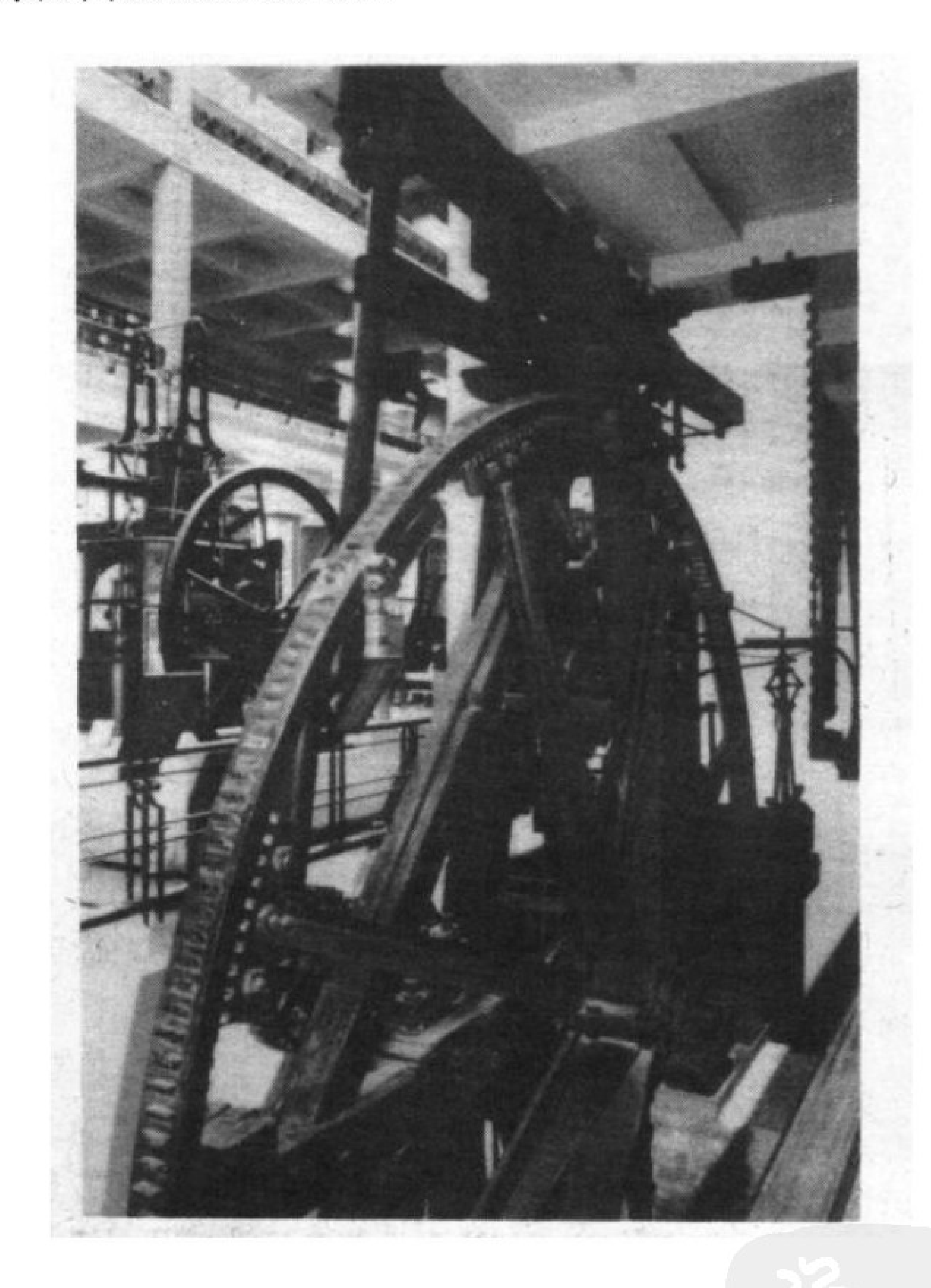
他反复多次试验有关方面的关系，求出了所需蒸汽量。在实验的过程中他注意到，特地给气缸提高了温度，可接着又不得不用大量的水来冷却。为了解决这一矛盾，需另置冷凝器。他还想到，将蒸汽放入冷凝器时，不单加大气压，如果施加蒸汽本身的压力的话，效果会更好。因此，瓦特第一个给气缸加了压，据记载当时仅施加了一个大气压。

1776 年，自瓦特受命对纽科门发动机作故障分析时起的第 13 年，第一台装有冷凝器、直接靠蒸汽压力使气缸内的活塞工作的蒸汽机被造出来了。但是，最初的瓦特蒸汽机用来获取巨大动力的齿轮却是光溜溜的，没有齿（见照片 3-3）。

现代发动机的齿轮都是采用渐开线曲线加工的，并且作了充分的强度计算。而瓦特时代，齿轮也还处于草创期，尚未出现采用渐开线曲线的齿轮，仅使用叫做螭曲线的曲线。瓦特是第一个进行齿轮强度计算的。加工精度和性能是发动机及一切产品的根本，这一点从瓦特发动机起就已经明确。

然而，据说瓦特本人并没有积极进行脱离大气压发动机的工作。他是给气缸施加了一个大气压的蒸汽压，但由于当初把冷却蒸汽分流到冷凝器，效率达纽科门发动机的 4 倍以上（煤的耗量只有 1/4）。而瓦特坚决反对危险的高压化。但是，瓦特发动机的基本结构本身已经脱离了大气压发动机。其高压化也是追求更高

效率的技术发展的必然趋势。



照片3-3　瓦特的蒸汽发动机。宛如燎原之火，在欧洲各国普及起来。这是1788年瓦特制作的缸径476mm、行程1200mm、13.75hp的发动机实物。动力传递齿轮光秃秃的。世界上第一个进行齿轮强度计算的是瓦特（伦敦科学博物馆）

4. 内燃机是怎样诞生的呢？

由错误的假说诞生的世纪发明。

内燃机诞生的壁垒

所有的技术进步，包括自然科学的进步在内，都是以再现实验为基础的，确定假说，证实某一法则（设计基准）成立，再不断向前发展。假说归根结底只是假说，没有必要是“真说”。因为假说只是探讨问题的立足点，因此在解决问题的过程中，如果有不合逻辑之处，可以纠正。

众所周知，构成现代汽油机基础的 4 行程发动机，是奥托不懈探索和努力的结果，是尝试的产物。但是，构成这一探索的基础的假说，是以改善原发动机低效率为假说的，完成的奥托发动机虽然实现了高效率，但其原理却与假说大相径庭。

蒸汽机投入使用后，很久没有出现重量轻、功率大的内燃机。主要原因是因为点火前没有压缩混合气。内燃机是在纽科门发明蒸汽机后 155 年，即 1860 年，由法国人勒诺瓦尔制作出来并得以应用的。勒诺瓦尔发动机是用大气压点火的发动机。点火前，对进入气缸里的混合气进行压缩，由于绝热变化的关系，点火时的温度与容积比（即压缩比）的取幂成正比地增加，因此热效率迅速提高（见附录 A4）。现在的汽油机和柴油机之所以都最大限度地提高压缩比，其理由就在于此。

象这样在点火前试着压缩混合气的设想，在勒诺瓦尔发动机发明不久，就有人提倡过。但是，奥托的着眼点不在这里，他显得有些外行。也就是说，他陷入了勒诺瓦尔的因为爆发冲击太大，热效率不好，应进行缓慢燃烧的理论的影响中。为进行缓慢燃烧，

他首先在分层的混合气部分点火，使火焰慢慢开始燃烧，接着使燃烧蔓延到浓厚的混合气区域，最后使燃烧传播至混合气稀薄区域。

不妨这么认为：这件事虽然与4行程没有直接关系，但是，因奥托偶然重蹈了勒诺瓦尔的覆辙，而且利用自己发明的进排气和点火用滑阀式火焰点火法，使进气行程独立（原打算以此实行分层进气），结果研制出4行程压缩发动机。据说当时的压缩比约为2.5（现在汽油机压缩比约为8；柴油机压缩比约为18）。

是谁完成4行程发动机的理论的？

是谁完成了4行程发动机的理论呢？是法国人博杜·罗夏（Alphonse Beau de Rochas）于1862年完成的，即是在勒诺瓦尔发动机问世之后不久，奥托发动机出现的14年前。但是，罗夏的论文及以其论文为基础的专利却是在奥托发动机发明（1876年）以后，因社会上流传着几种相似的设想，奥托的专利不时引起争论，最终于1884年，由C·威根德律师从未发表的专利资料中发现的，但本世纪的重大发明，竟然因为拖欠专利费而失效了。

奇怪的是，当事人罗夏在奥托发动机荣获巴黎博览会金奖时（问世的第二年）以及后来，都没有提出任何抗议。还有，令人啼笑皆非的是，因拖欠专利费而使之失效的法国政府，却又在罗夏去世前两年把他作为4行程发动机的发明人予以表彰，并奖励他3000英磅。

但是，在法国的教科书里，却很少看到“奥托发动机是根据博杜·罗夏循环理论发明的”提法，实在是件憾事。

附录A4　压缩比与热效率

靠气缸里的活塞绝热压缩空气，使供给的热量等容积燃烧，从最大压力点开始绝热膨胀的循环就是现在被认为是火花点火发动机（常见的汽油机）理想循环的奥托循环。

设压力、温度、容积分别为P_1、…、P_4、T_1、…、T_3、V_1、…、V_4，加热量和散热量的关系如下：

$$Q_h=mC_v(T_3-T_2)=mC_vT_1\varepsilon^{K-1}(\xi-1)$$

$$Q_L=mC_v(T_1-T_4)=mC_vT_1(1-\xi)$$

式中，m——气体重量；

C_v——定容积比热；

ε——容积比（压缩比）$=V_1/V_2$；

K——绝热指数=定压比热/定容比热$=C_p/C_v$

ξ——压力增高比，$\xi=P_3/P_2$

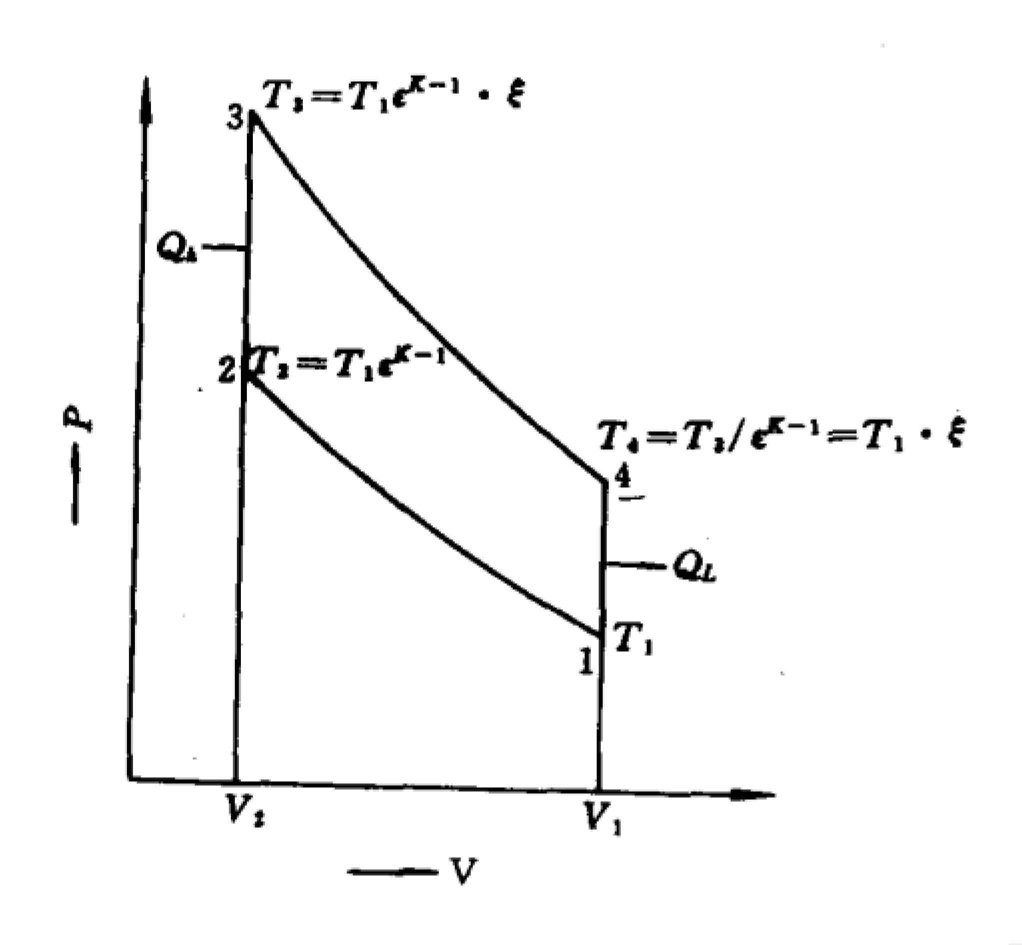


图 A4-1 奥托循环说明

理论热效率：

$$\eta_{th}=1-\frac{Q_L}{Q_h}=1-\frac{1}{\varepsilon^{K-1}}$$

$$=1-T_1/T_2=1-T_4/T_3$$

理论热效率仅与压缩比和比热比有关，相当于作用于T_1、T_2或T_3、T_4温度间的卡诺循环的效率（参考第9章）。

5. 奥托的灵感

分层进气燃烧之梦。

从烟囱冒烟所想到的

置身于德国卡斯莫特伦·法布利克公司（现在的 KHD 公司）的奥托，为提高发动机效率煞费苦心。有一天，他看工厂烟囱冒



图 5-1 从烟囱冒烟引发的奥托的梦想（1870 年）

出的烟没有和空气混合，一直上升，看出了神。为什么呢？突然，一种灵感浮上心头，他想如果把烟换成混合气，在烟囱出口处

（即混合气浓的区域）点火，那么燃烧会慢慢地传播到逐渐稀薄的其它部分（稀薄区域），一定能获得平缓的高效率燃烧。

他想如果在发动机的气缸里，实现烟囱冒烟的现象就好了。于是，他迫不急待地制作了一个透明的气缸和带有靠手动工作的活塞以及侧阀式进排气管的模型。将香烟的烟放入进气阀，终日反复观察，终于研究出空气与煤气的加添方法。还进一步认识到在爆发时，如果上一个循环没有烧尽的气体残留在缸内，则爆发冲击会得到缓和。结果，4 行程气体发动机被制作出来了。

奥托的理想在排气净化举措中得以实现

然而，冷落多年的分层进气发动机，直至大肆宣扬排气净化的 70 年代，才倍受青睐。奥托的理想，在本田的 CVCC、福特的 PROCO 和大众的 PCI 等发动机上实现了。图 5-2 示出了本田的

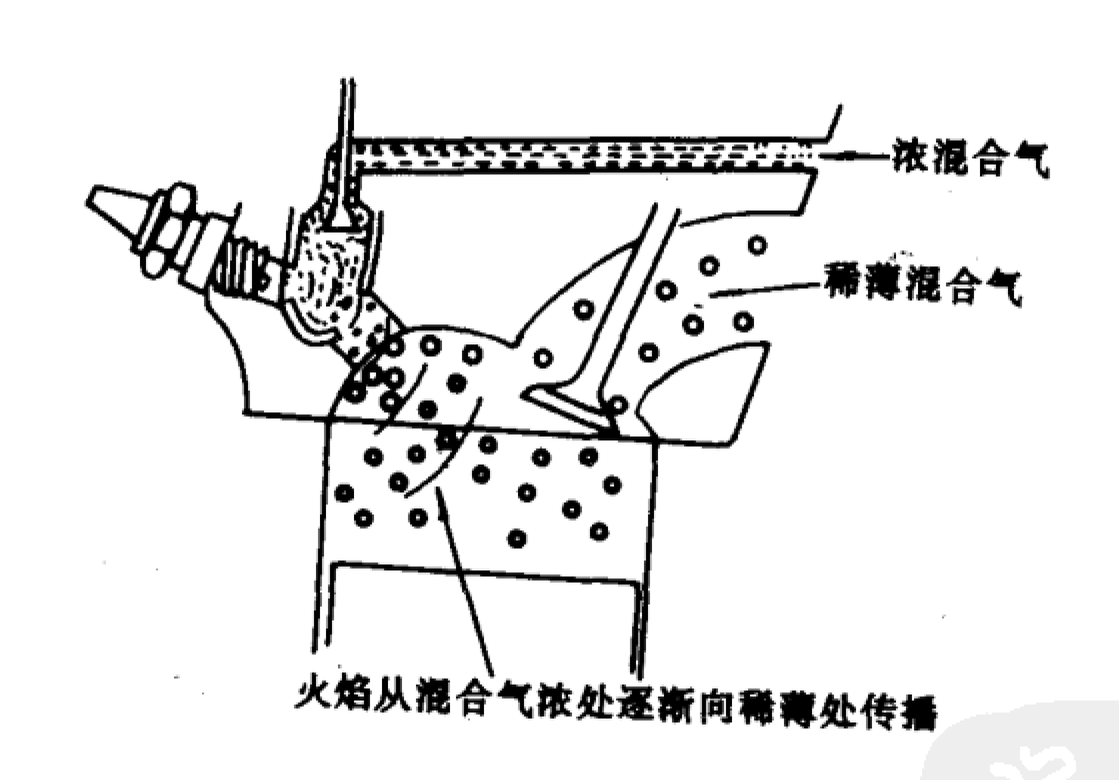


图 5-2　奥托的梦想——本田的 CVCC

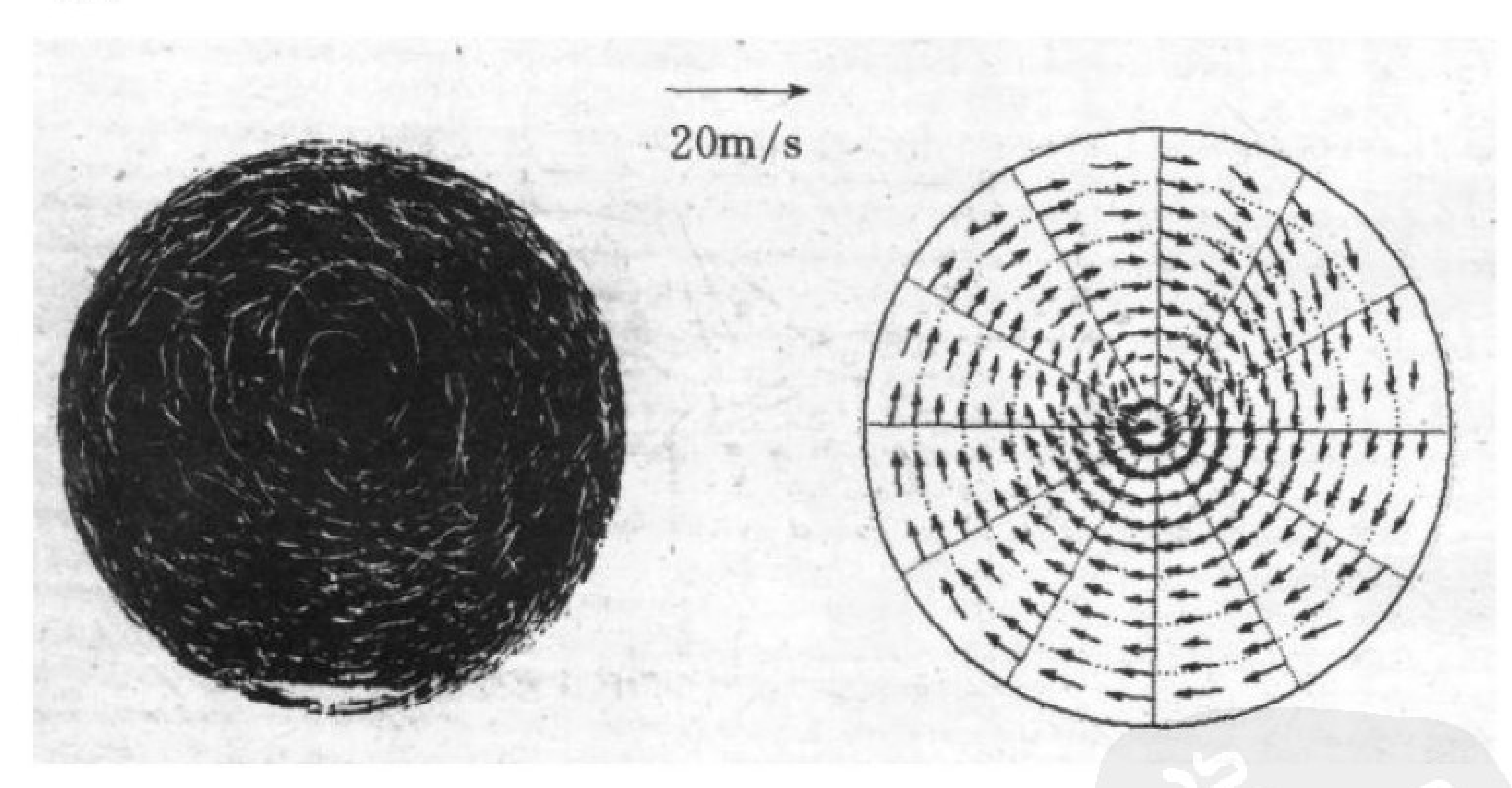
CVCC 发动机的工作原理。即，将浓混合气导至火花塞附近后点火，使火焰逐渐向稀薄混合气方面传播。如果使混合气变得稀薄，燃烧温度下降，就能够减少排气中最难对付的 NO_x。CVCC 对于通常状况下不燃烧的稀薄混合气，采取了先给部分浓混合气点火，然后使之依次蔓延至稀薄混合气的方法。尽管本田构想的出发点

与奥托不尽相同，但本田的设想不正是实现了 100 年前奥托的梦想了吗？

另外，奥托采用的透明气缸观察法，作为排气净化措施的重要研究方法，通常称作可视法，为研究部门所普遍采用。设想如果不知道 NO_x 的奥托，看了这番光景，肯定会说，都过去 100 年了，怎么还搞俺的那一套呢？

照片 5-1 为按照最新的柴油机气缸制作的透明气缸，用可视法可以观察到的空气流动状态的照片。可以看出气缸里卷起了强大的旋涡，这旋涡是左右燃烧状态的重要因素。

对于汽油机所排放的 NO_x，后来普遍采取三元触媒的有效措施和根据对气缸内空气流动研究等而采用稀薄燃烧解决。所谓“分层进气燃烧的发动机”再度消声匿迹。不过，局部研究仍在进行。



用激光片观察到的气缸断面的流动　　用激光流速表（LDV）测得的左边流动的速度与方向

照片 5-1　气缸中卷起的强劲的空气涡流

6. 奥托发动机是怎样问世的？

发明者是奥托，但制造者是梅巴哈，留下的永恒课题是“润滑”。

没有帮手，会有奥托发动机吗？

任何一项成就都有其背景。在背景中，无不蕴藏着与该项成就有关的许多人的呕心沥血与献身。特别是在机械工业领域里，没有一项成就是个人奋斗的结果，有力的助手是成功的必备条件。

赫更斯的发动机得到了巴平的帮助，勒诺瓦尔的发动机则是集许多前人的构想与技术之大成。遗憾的是，4 行程发动机的发明人博杜·罗夏却未遇到鼎力相助的人。

奥托的发动机的面世，也得益于几位得力助手的辅助。威廉·梅巴哈（Wilhelm Maybach）就是其中的一位，他后来晋升为戴姆勒公司的总工程师，研制了用于二战中战斗机上的戴姆勒和罗尔斯·罗依斯发动机的原型机。

梅巴哈的两大功绩

当奥托的发动机试制完了时，梅巴哈正在美国旅行。回国后，为了将试制发动机投产，他立刻投入了各种改进工作。他与莱尔·康明斯主要功绩有二：一是制作了一个分散起动压缩力，以使发动机轻快运转的装置。该装置的构思很像在战后长期用于大型预燃烧室式发动机的减压装置。为了分散起动压缩力，在进排气阀中有一个处在开启状态下时，使发动机运转，当发动机在产生回转惯性的位置时，阀门恢复正常工作，瞬间点火爆发，开始启动。

二是改进了润滑系统。试制型发动机与生产型发动机的根本不同之处在于，生产型带十字头，而试制型没有。

所谓十字头，如图 6-1 所示，是安装在活塞与连杆之间，承受来自连杆的横向压力（侧压）的滑片，蒸汽机曾有使用十字头的习惯。现在，除了气缸直径在 500～600mm 以上的低速船用 2 冲程发动机以外，已无用例。不过，十字头能够使承受侧压的滑动部分和活塞销脱开处于高热之中的活塞，使这部分的润滑条件得到很大改善，从而可以避免烧蚀、异常磨耗等故障。

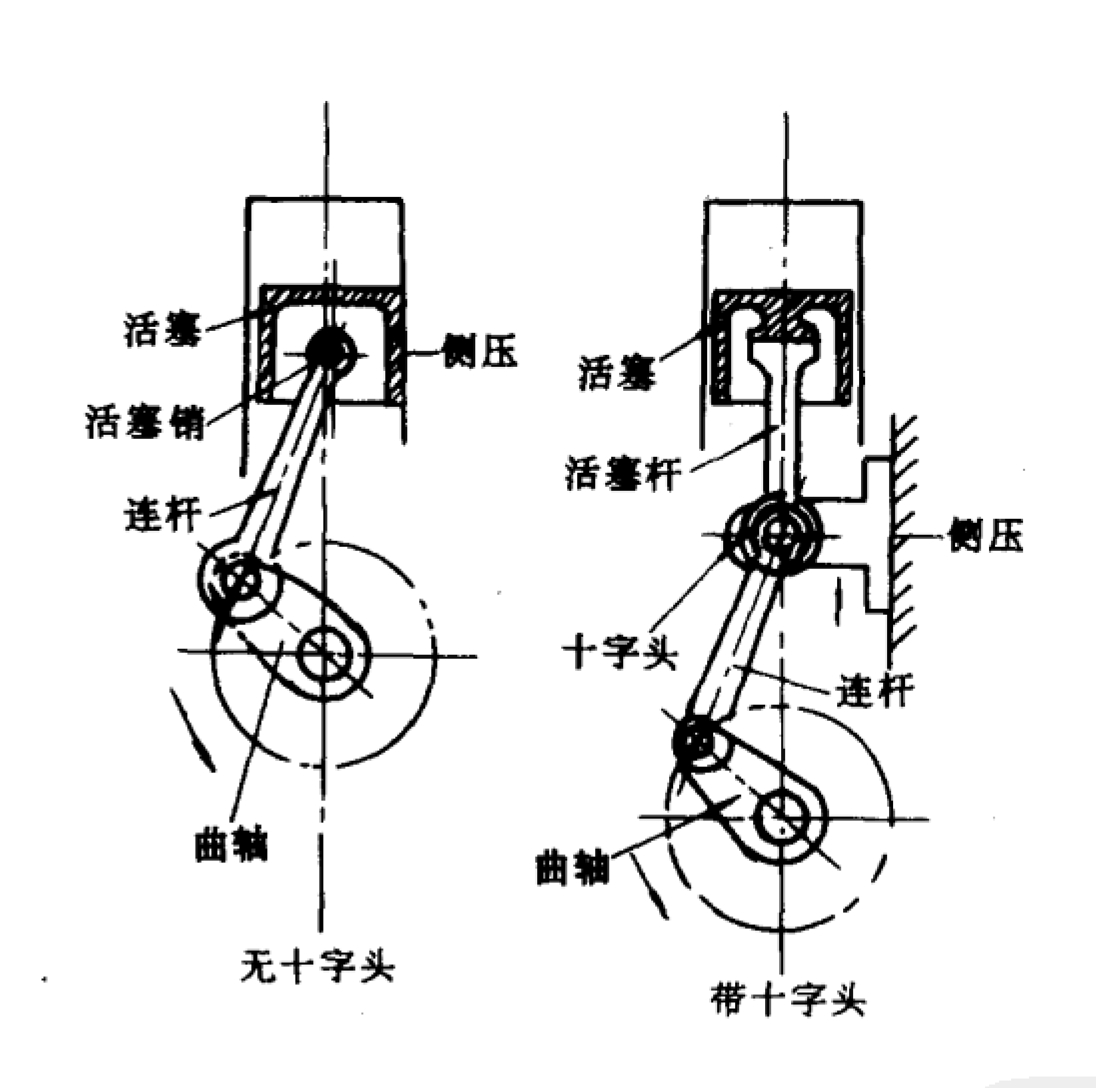
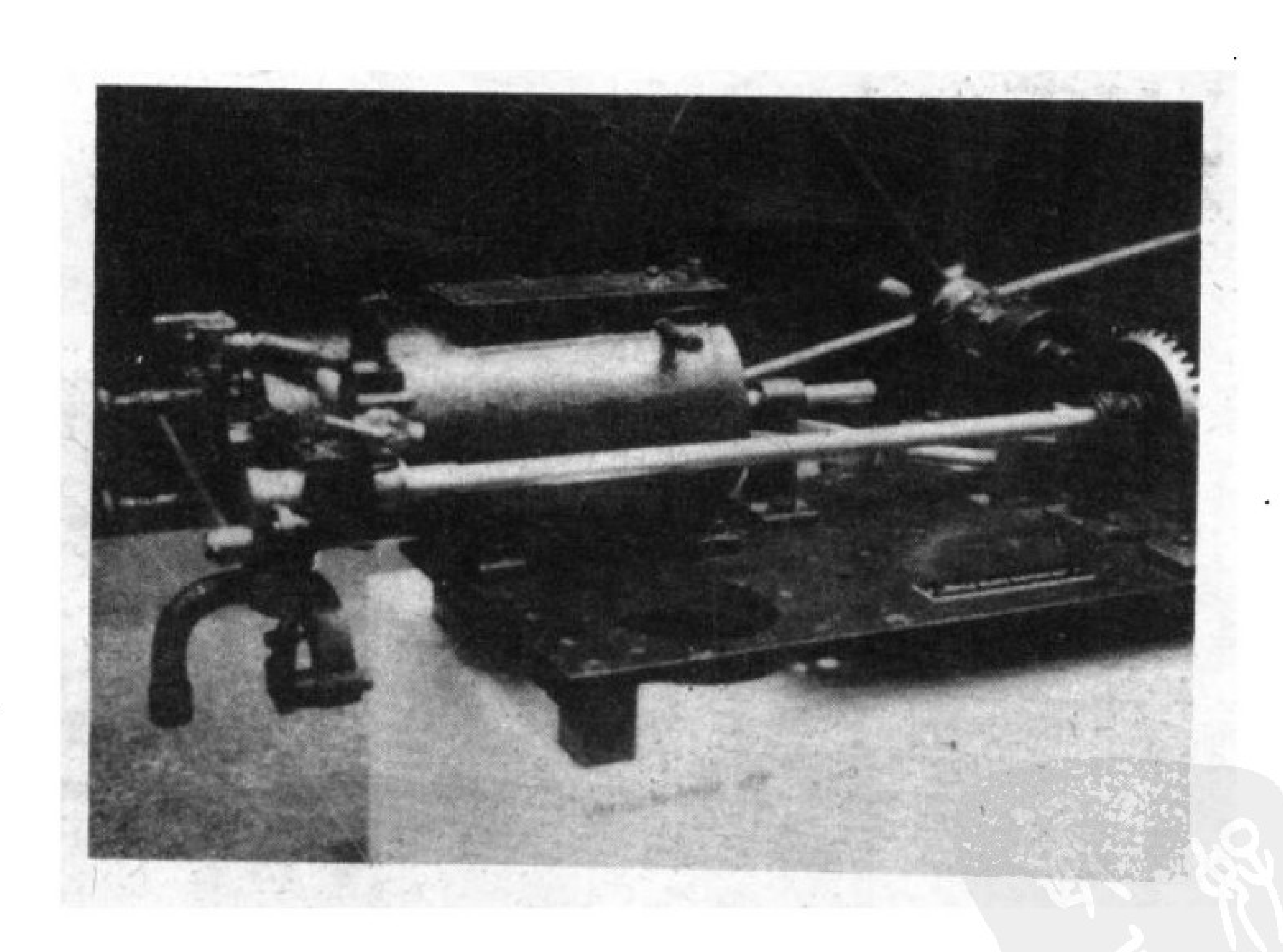


图 6-1　十字头的说明　（左）无十字头；（右）带十字头

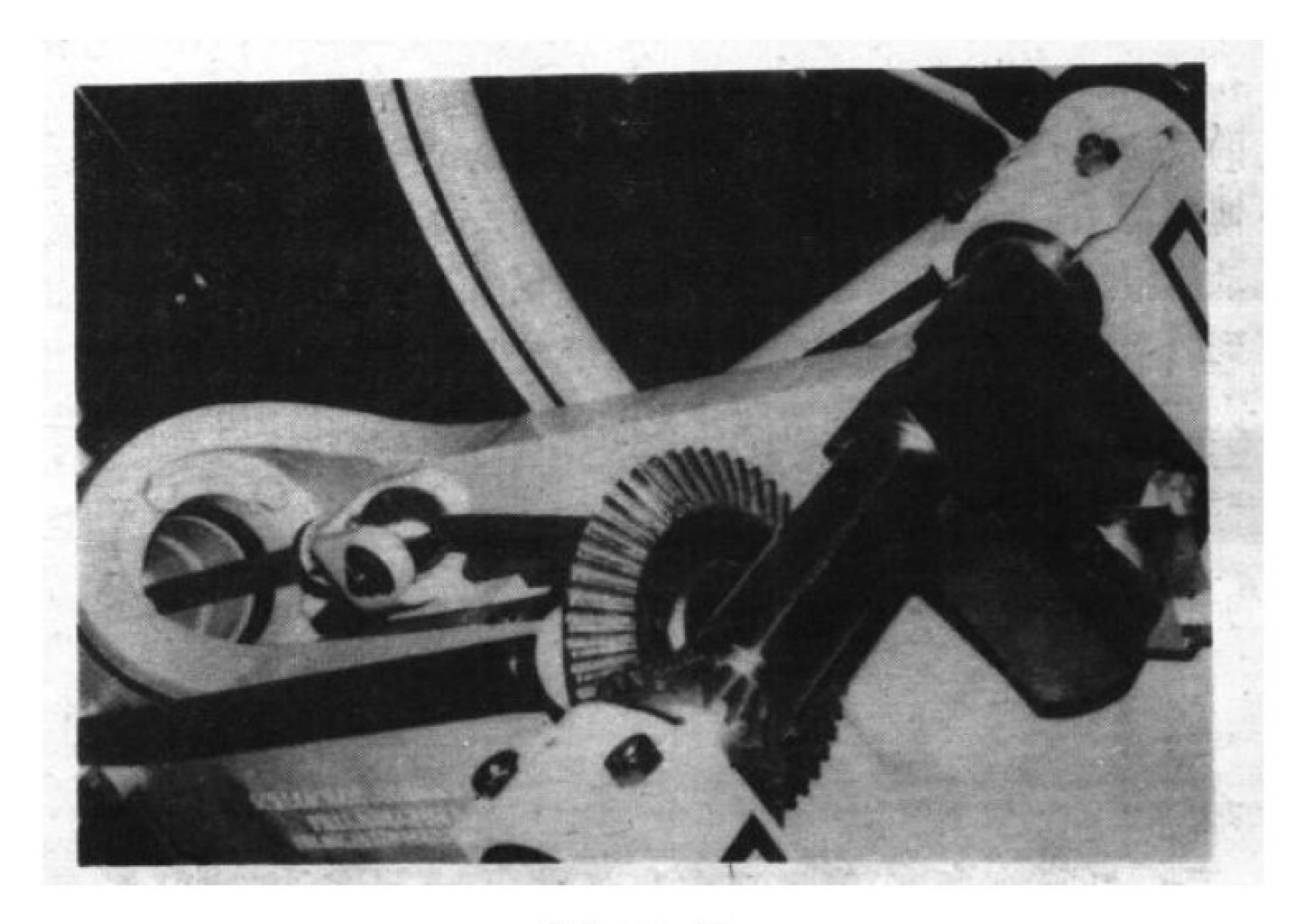
据记载，追求简单结构的奥托的最初试制发动机，在设计上脱离了原来的蒸汽机，取消了十字头。但经过故障分析，马上又回到原来型式，并在气缸上加了一个储油的油封装置，这一措施彻底地解决了润滑问题。由此可见梅巴哈的远见卓识。即使在今天，这也是解决故障的基本手段之一。

在德国科隆市KHD公司的博物馆里，完好地保存着奥托最初于1876年试制的缸径160mm、行程300mm、3hp/180r·min^{-1}的发动机（照片6-1（上））。而生产型则陈列在美国的斯密索尼安博物馆。该发动机是1880年前后KHD公司在美国首次销售的发动机中的1台。照片6-1（下）示出该机的十字头部分。照片上看到的伞齿轮为缸盖的进排气和点火用点火器（当时还没有采用电火花点火的火花塞）的滑阀开关机构的一部分。这一构思后来在二战的战斗机用发动机上得到应用。

此后，十字头在小型发动机上基本上杳无踪迹，但活塞与气缸的润滑问题至今尚未解决，仍是个重要的研究课题。



照片6-1（上）



照片 6-1（下）

照片6-1 （上）试制型（KHD公司博物馆）缸径160mm、行程300mm、3hp/180r·min^{-1}（1876年）；（下）生产型（斯密索尼安博物馆）（1880年前后）生产型追加了奥托的试制型上所没有的十字头

7. 来自售后服务人员的改进措施

发动机维持寿命要靠润滑，维修人员搞出新技术。

烧蚀仍是活塞与气缸的主要问题

如果汽车在水箱无水的情况下行驶的话，活塞与气缸由于相互间摩擦生热，使接触部分溶化，最后象被焊上似地粘在一起了，这就是活塞烧蚀。即使在汽车大赛中，发动机也常常过热，水箱里的水沸腾，我们眼瞅着发动机冒烟了。之所以冒烟就是因为活塞（也有轴承等其它部分烧蚀的情况）烧蚀等原因，造成机油燃烧了。

这种烧蚀现象并不只发生在水箱没有水的情况下；活塞与气缸的摩擦面状态，即材料、表面加工工艺、润滑方式不适合发动机的运转工况时也会发生。只不过通常我们驾驶的汽车在这方面设计周密，很难有体会罢了。

估计上一章介绍的奥托的最初发动机，是因为烧蚀问题而不知所措的。因此，等待着梅巴哈从美国回来，就是让他解决这个问题的，而他的解决办法是，又回到十字头上来了。

烧蚀问题，即使在现在也是研究的中心课题。不过，现在恐怕已经看不到因为活塞烧蚀发动机不运转的事故了。然而，由于烧蚀，导致发动机迅速磨损、寿命缩短的问题倒是存在的。烧蚀至今仍成为研究课题的理由有两个：其一是最近的发动机已把机油消耗减少到最低限度；其二是为了减少发动机的磨损，延长发动机的寿命。人们一直为此付出孜孜不倦的努力。

机油消耗与发动机寿命

驰名遐迩的天才画家佐伯祐三先生在到达巴黎的第二年，画了一幅题为“加油站”的画。画上，加油站的入口处挂着“加添机油、汽油”的招牌。现在，在加油站补充汽油时，大概已经把加机油的事儿给忘掉了。在佐伯祐三提着画布在巴黎街头上徜徉的年代（1920 年），大约加 30L 汽油，就得加 2～3L 机油。因此图中加油站的招牌也是机油与汽油并驾齐驱的。

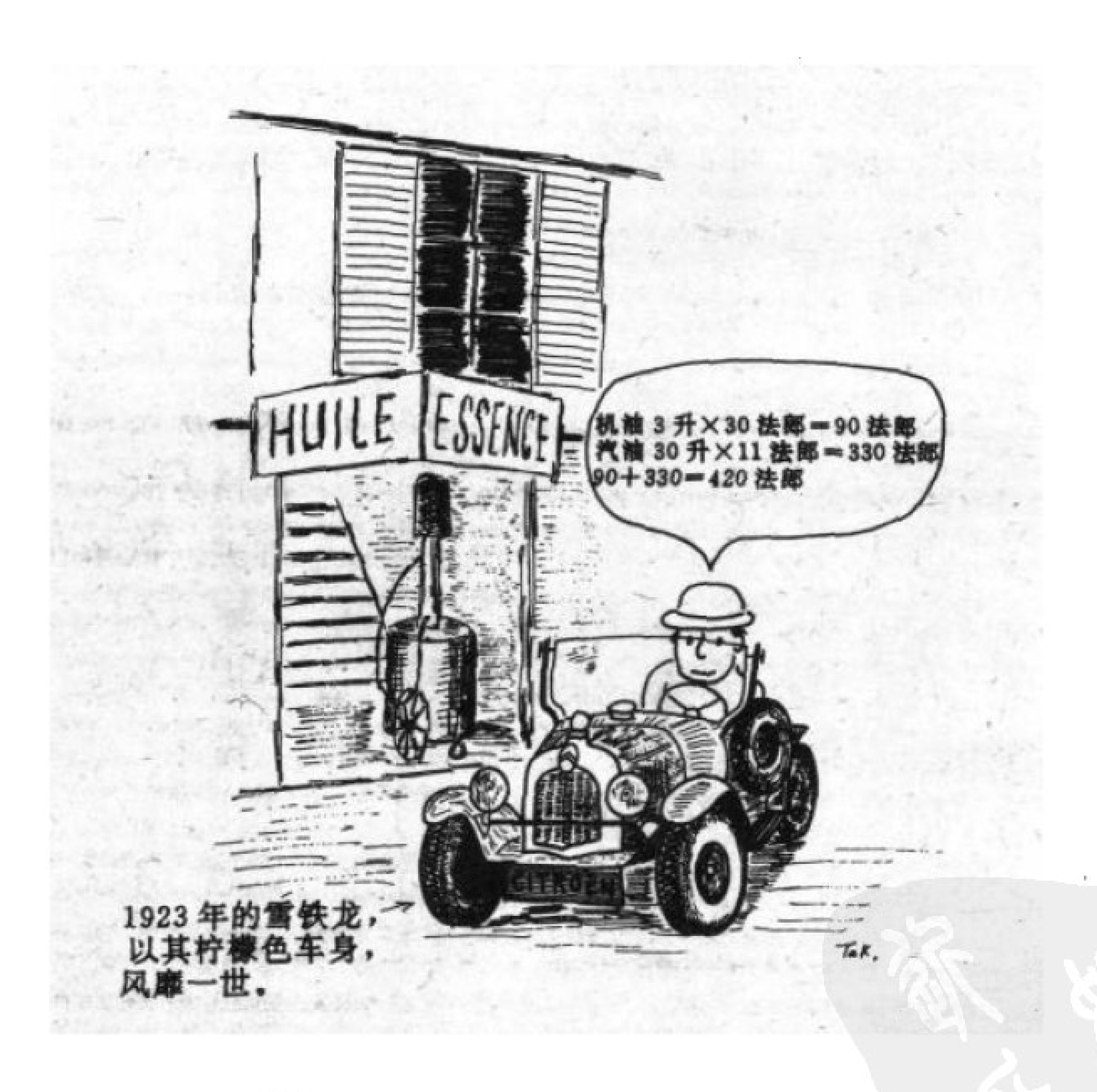


图 7-1　占油耗 1/10 的机油耗量



照片7-1　今天在巴黎街上，也能看见一般店头挂着的汽油加油站的招牌，但已无加添机油的字样了（1979年5月）

图7-2示出1910年前后至今发动机用机油消耗率变化的情况，现在机油消耗率已经减至1910年的1/500。但是，此图是将早期的航空发动机（过去航空发动机常常与车用发动机通用）与

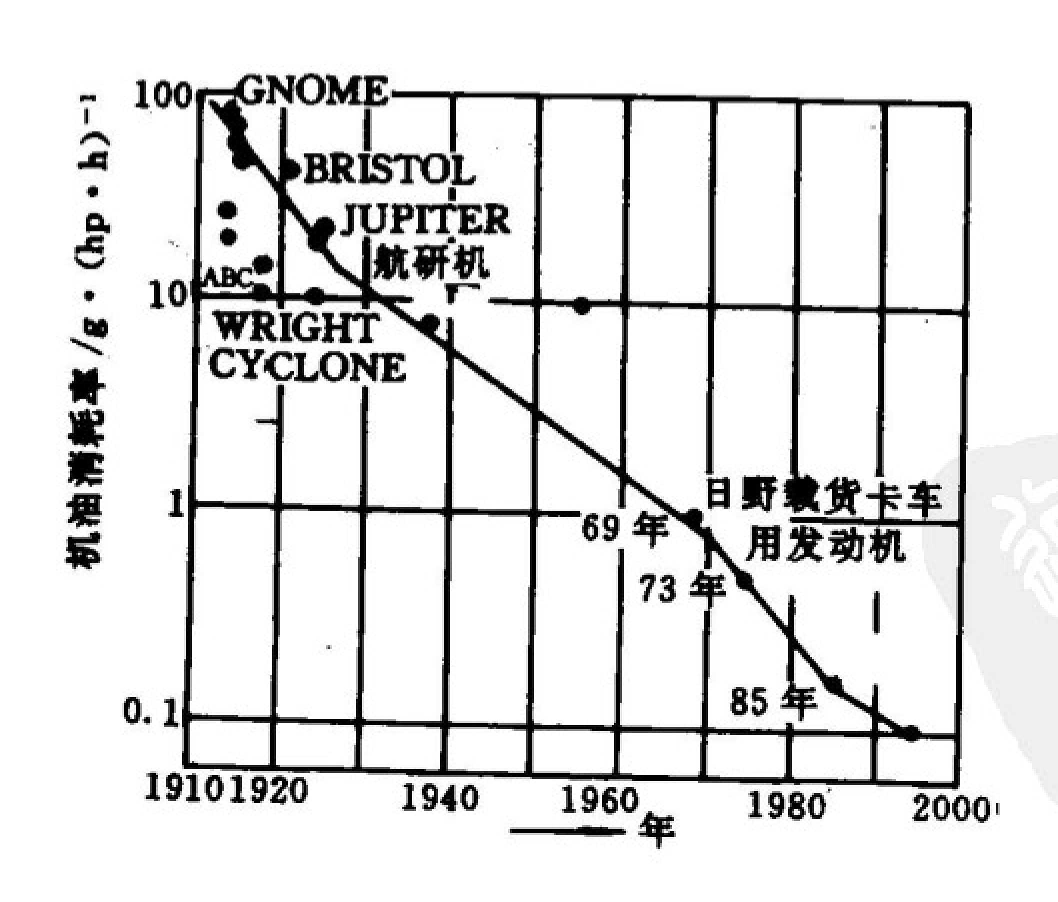


图7-2　机油消耗的降低

最新的商用车用发动机一起表示的。相比之下，商用车发动机对降低机油消耗的要求更为严格。因为降低机油消耗与延长发动机寿命适得其反，也就是说过分降低机油消耗会影响发动机的寿命。

图 7-3 示出战后载重卡车用发动机的平均寿命增长状况。特别是长途运输汽车用发动机，根据用户希望提高发动机寿命的要求，有了图示的增长。

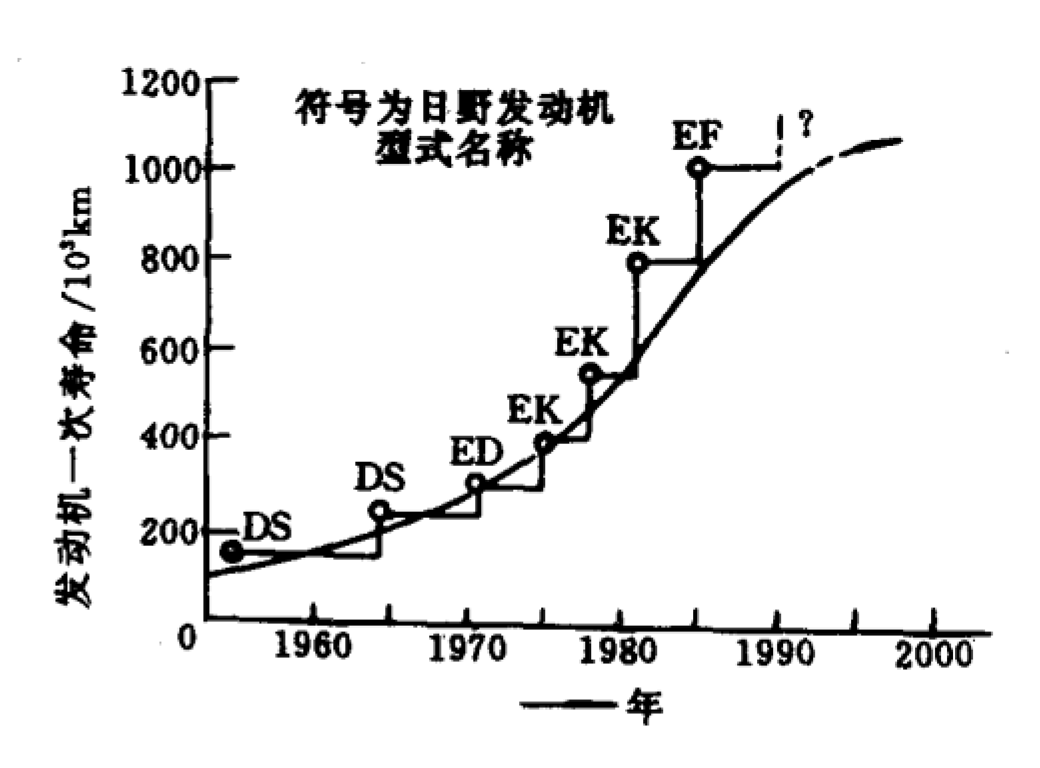


图 7-3　如同人的寿命一样，发动机的寿命也在逐年增加

注：发动机的寿命，因车辆的使用方式、维修保养方式不同，差异很大。这里示出的是理论上的平均寿命。

图 7-4 为对载重卡车从投入使用时起就其机油消耗情况进行跟踪调查的结果。从图中可以看出，机油消耗初期很少，一个时期大量增加，后来又减少，接着又逐渐增加。发动机的机油储存在油底壳里，只供应摩擦面润滑用油，可为什么会呈现这样的消耗曲线呢？

例如，变速箱也需要加润滑油，但不消耗。发动机的机油消耗有两个原因：一是因为润滑活塞与气缸的机油，因活塞环而未被刮掉，在气缸里烧掉了或没有燃烧就被从排气口排出去了。二是因为气缸里的爆发气体从活塞和气缸之间一点点地漏掉了，里面混有少量的机油。也就是说，把漏泄气体叫做窜气。通常，通

过排气管排到发动机外部或者使之重新与发动机的吸入空气一起吸入，再燃烧。这种气体中也混有机油。

因而，为了减少机油消耗，可以使活塞牢牢地贴在气缸上，硬性地把机油刮掉。但是，机油没了又容易烧蚀，这里很难两者兼顾。如图 7-4 所示，载重卡车在行驶初期，机油消耗之所以少，是因为在这样无烧蚀的范围内，尽量使活塞环紧紧地贴着气缸的缘故。磨合后，机油消耗量也逐渐增加。不过行驶里程延长后，机油消耗量又如图示地减少。

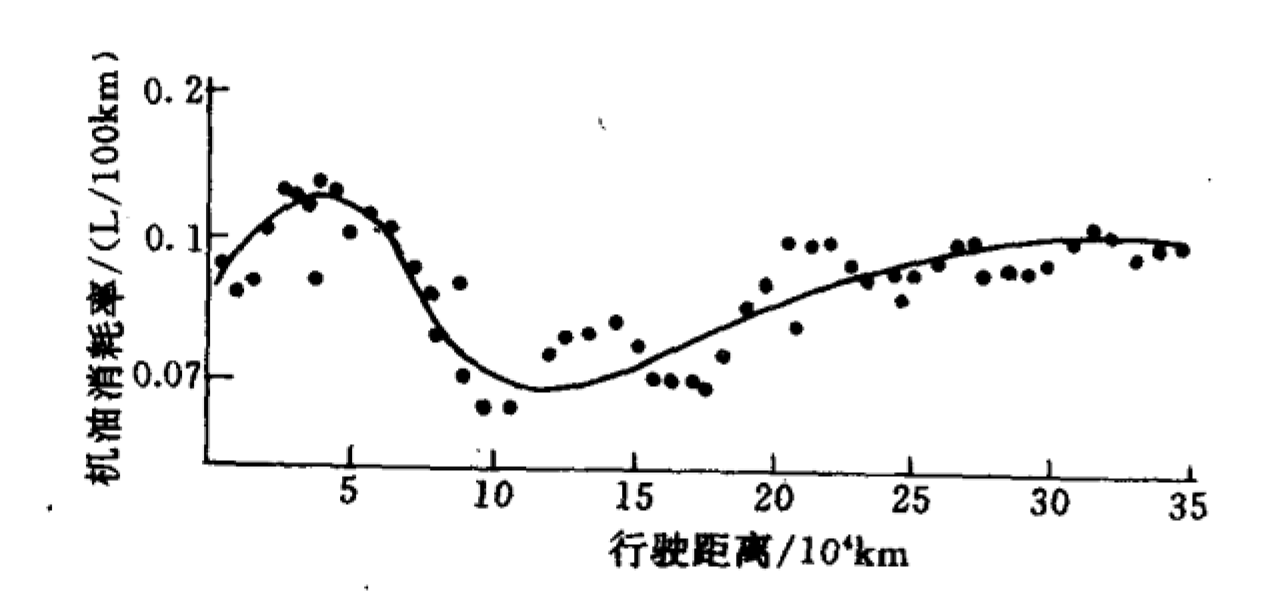


图 7-4　载重卡车发动机的机油消耗量的推移

其原因在于，本来气缸内面的机油完全被刮掉的话，活塞就会烧蚀。因此在气缸上加工极细的条痕，使机油保存在其中。汽车大约行驶 10 万公里时，机油消耗之所以减少，是因为图 7-5 所示的气缸内面磨损，条痕里的机油保持量减少，减少的部分被烧掉了（这个时期也是活塞烧蚀的危险期）。

之后，由于各部分磨损造成的间隙增加以及活塞环的弹力减弱，机油消耗逐渐增加。当气缸内面的条痕完全磨平时，活塞环也磨损了，窜气随之增加，机油消耗就增加了，有时还有烧蚀的危险，发动机已经到了风烛残年。

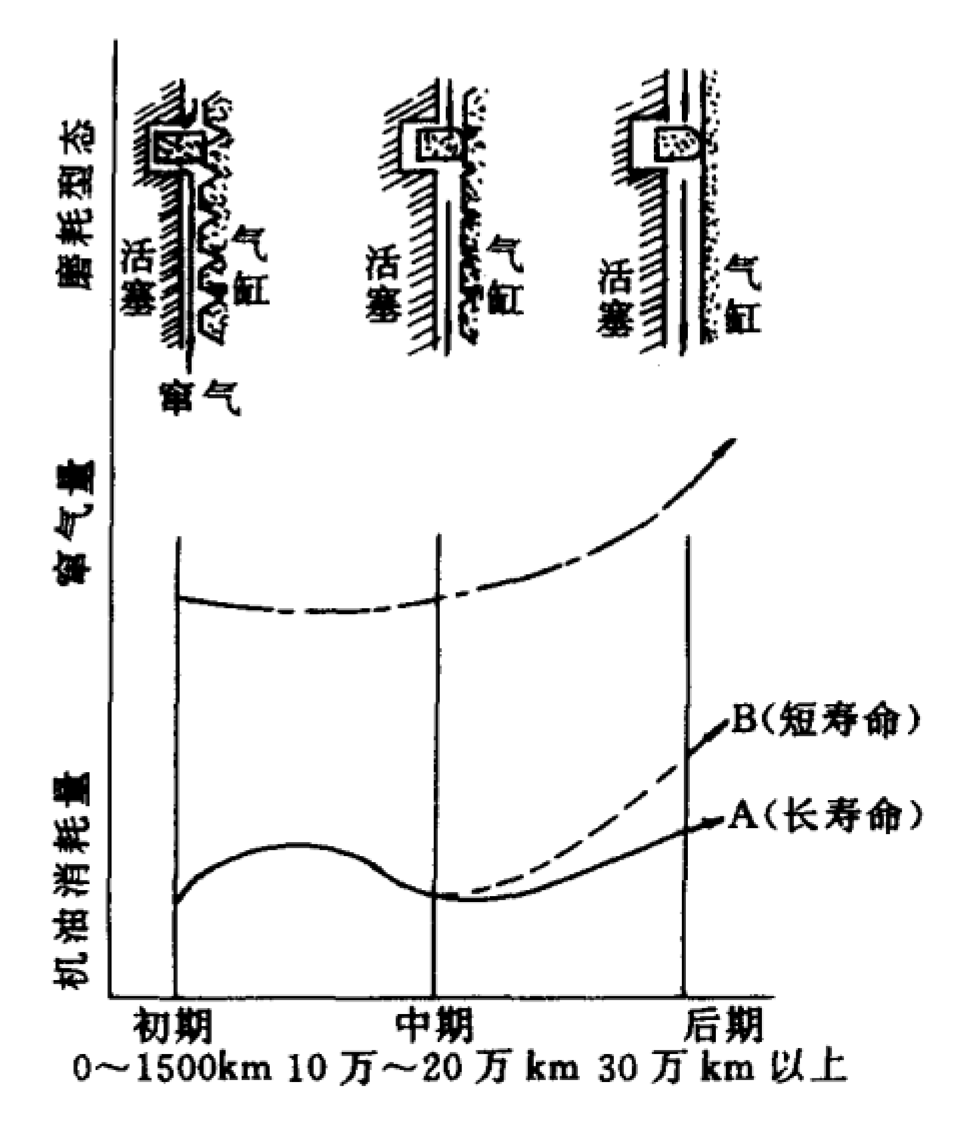


图 7-5　机油消耗量与磨损形态

使发动机长寿的两大因素

当然，发动机的使用寿命不仅仅是由活塞和气缸决定的。不过，就象主宰人类生命的主要疾病一样，决定发动机一生的主要因素是活塞和气缸（附录 A7）。活塞和气缸的研究进展如何，关系到发动机如何渡过幼少年和中年的危机，如何避免一生中医药费的支出以及延年益寿。

气缸内面的条痕一般采用珩磨加工工艺，通常不是加工出平行沟纹，而是交差沟纹。习惯称作网纹。交差角度和沟槽纹络，各厂根据自己的研究成果选择最佳值，因此不尽一致。这种加工工艺是什么时候确立的，已无从考证。不过，在堪称内燃机旧圣书的托维尔 1934 年版的著作里，有一段有关的记述，大概是始于那个时候吧。

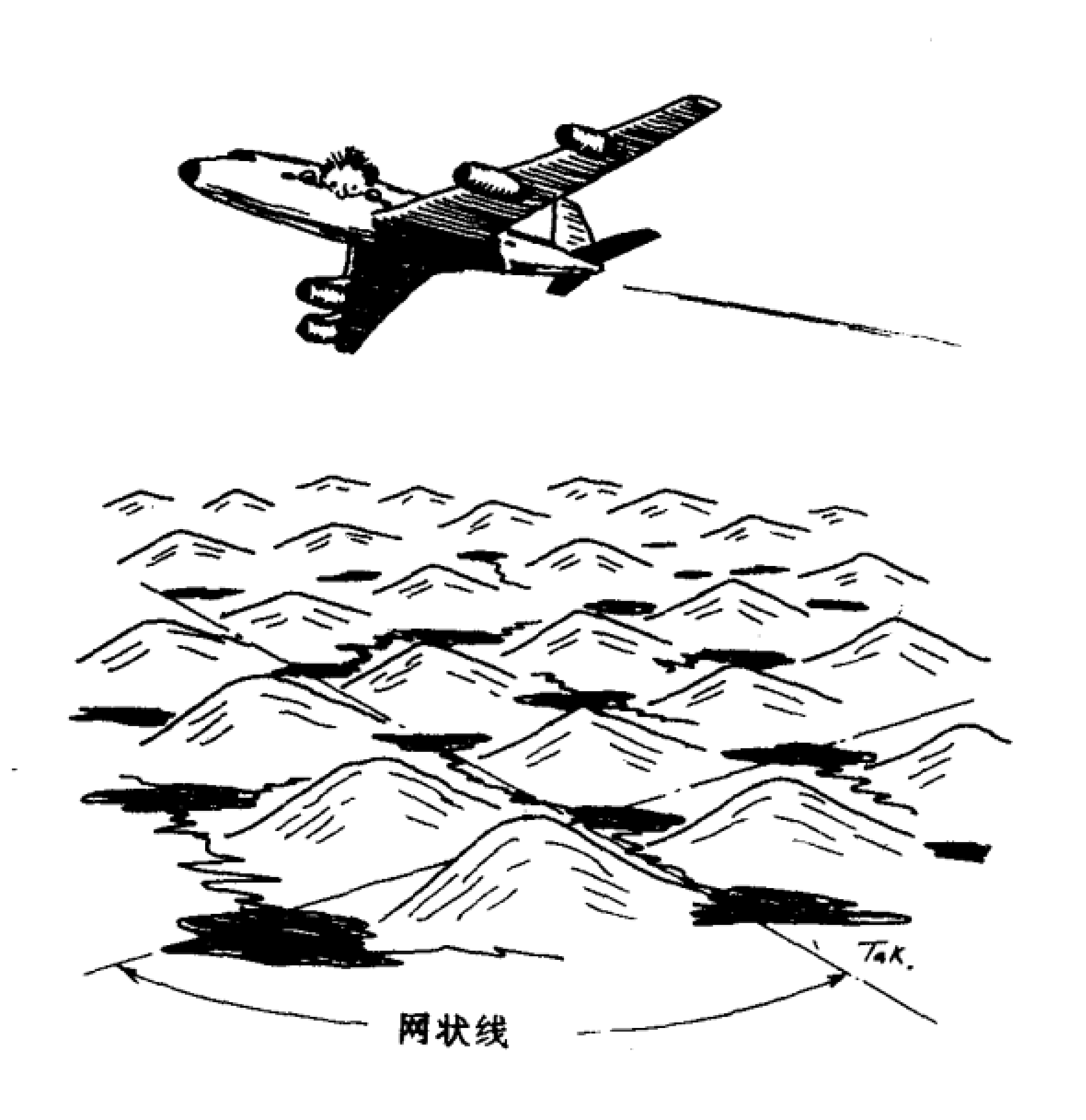


图 7-6　气缸内面连绵不断的山脉与湖泊。它的改造乃是发动机的研究课题

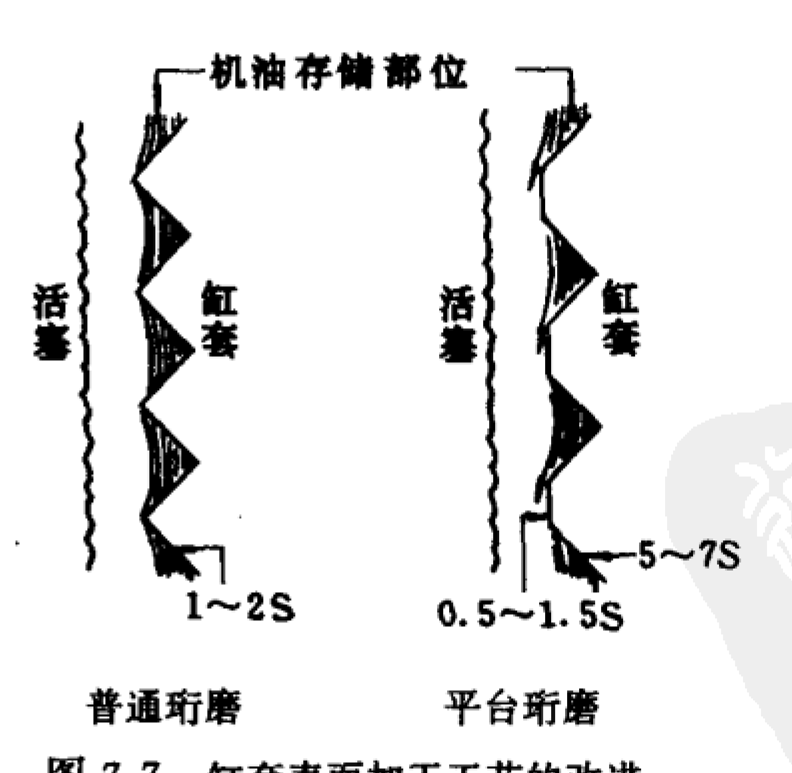


图 7-7　缸套表面加工工艺的改进

直到 1957 年才弄明白：气缸表面的加工方法对机油消耗有很大影响。于是，美国率先迅速地改进了加工工艺。大约在 1960 年，

一位售后服务人员听到一位顾客抱怨机油消耗太大。那位顾客的车是装有 V8 发动机的轿车，每升机油的行驶里程为 650km。1957 年型车一般每升机油的行驶里程为 400km，可那位顾客牢骚满腹，说比前一辆车还差。为了使顾客消除牢骚，售后服务人员更换了所有的活塞环，机油消耗状况有了很大改善。可是，顾客还是不满意。于是，他又以极高的光洁度小心翼翼地珩磨了一遍气缸。好极了，机油消耗一下子就改善到 1200km/L。

1971 年美国国际哈贝斯特公司将叫做平台珩磨（flathoning）的内面加工工艺用于新开发的 300/400 型发动机上，一举改善了机油消耗和发动机寿命。其实，就是把那位售后服务人员的尝试用于生产了。即，图 7-7 示出用显微镜观察到的断面，一次珩磨出条痕，然后再将条痕的顶部加工平整。所谓平台珩磨系指顶部是平坦的凸台，由于凸台上面的小条痕，使总的存油量减少，从凸台下部只补充避免烧蚀量的机油的机构。图中的 S 是表示凸台高度的符号。1S 约等于 1/1000 mm。

目前，为了改进机油消耗状况和提高发动机寿命，人们正在努力进一步提高珩磨的精度。

附录 A7　影响发动机寿命的故障

图 A7-1 示出 1976 年美国工程师协会举办的发动机润滑研讨会上发表的因发动机润滑引起的故障。项目前面标有○符号的为与活塞、活塞环、气缸有关的故障，可见这些问题有多么重要。当发生在行驶距离短的情况下，图中的影响度指数是指与影响因素相乘的结果，使其影响增大。

针对这一结果，决定对最近重型载货汽车用柴油机寿命的原因重新作了调查，调查情况示于图 A7-2。柴油机整体的平均寿命延长了，但决定其寿命的主要原因没有变化，仍然是与气缸有关的摩擦、润滑问题（摩擦学）。

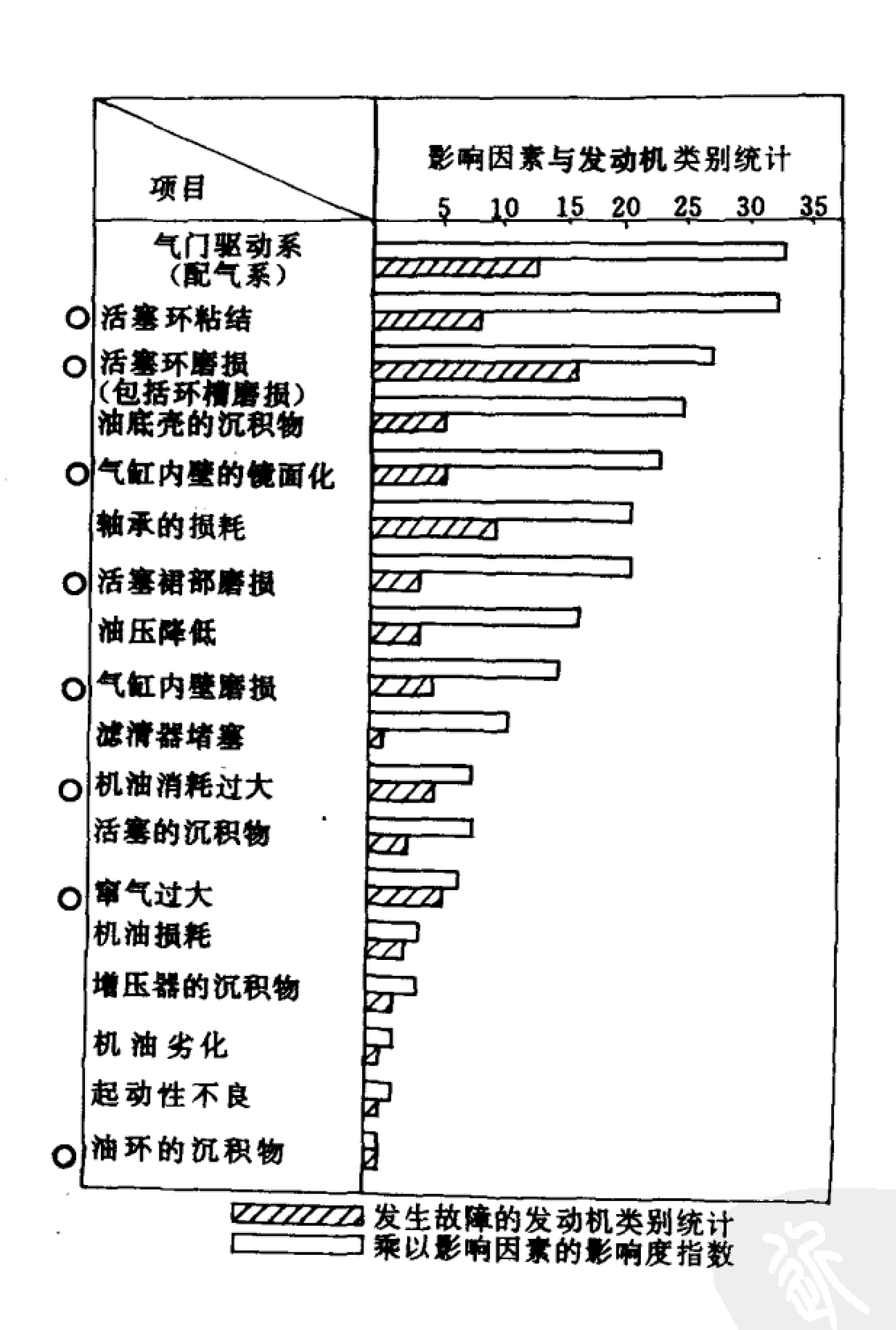


图 A7-1 影响发动机寿命的故障例（1976 年）

项目

影响因素与发动机型类别

10 20 30 40 50

活塞环槽磨损
活塞环磨损

轴承磨损

水泵磨损

缸套外围及缸套O型环磨损

活塞顶环及裙部擦伤

缸套镜面化

活塞环擦伤

窜气过多

机油消耗过大

增压器损耗

缸垫漏气

机油损耗

发生故障的发动机类别统计

乘以影响因素的影响度指数

图 A7-2 左右发动机寿命的故障例（1987 年）

8. 发动机的寿命与气缸

为提高输出功率的使命而战。

航空发动机与车用发动机的寿命

在美国佛罗里达州的彭萨科拉海军航空博物馆里，陈列着1909年从莱特兄弟手里买来的最早的海军用航空发动机。但是，仔细一看，就会发现曲轴箱（发动机本体）上有两处很大的裂纹。这台发动机如同1903年首次飞行的航空发动机一样，其排量为4000mL。但输出功率已从当时的12hp提高到39hp，提高了两倍以上。看到这台发动机的一刹那，便清楚地意识到提高发动机的可靠性（寿命）和功率是永恒的命题。总之，虽然无法知道这台发动机运转了几个小时，但是很容易推测，这是一台令人感到恐怖的发动机（照片8-1）。

那个时代，人们首先考虑的不是发动机的寿命，而是到处出毛病的故障问题。当时，汽车在路上抛锚是家常便饭。因此，司机必须随时随地进行故障诊断和修理。据说常出现的故障是化油器堵塞和电气配线故障。因此，虽然不知道那个时代发动机的寿命有多长，但据传说美国海军买来莱特飞机那一年，单翼飞机第一次横越多佛尔海峡，装用的发动机只勉强维持了横越所需要的38分钟运转。传闻说，该发动机多亏了偶然刮来的一阵飓风使其冷却，才免于因过热而烧毁（图8-1、照片8-2）

在第一次世界大战期间，罗尔斯·罗依斯的航空发动机飞行了150小时大修被传为佳话。到了第一次世界大战末期，发动机寿命大约达300小时，但不知经过多少次大修。至于到了第二次世界大战时期，最初的大修时间间隔为500～700小时，有时经几

次修理就报废了。不过，军用飞机的使用条件复杂多变，加之又受战事影响，因此实情不详。

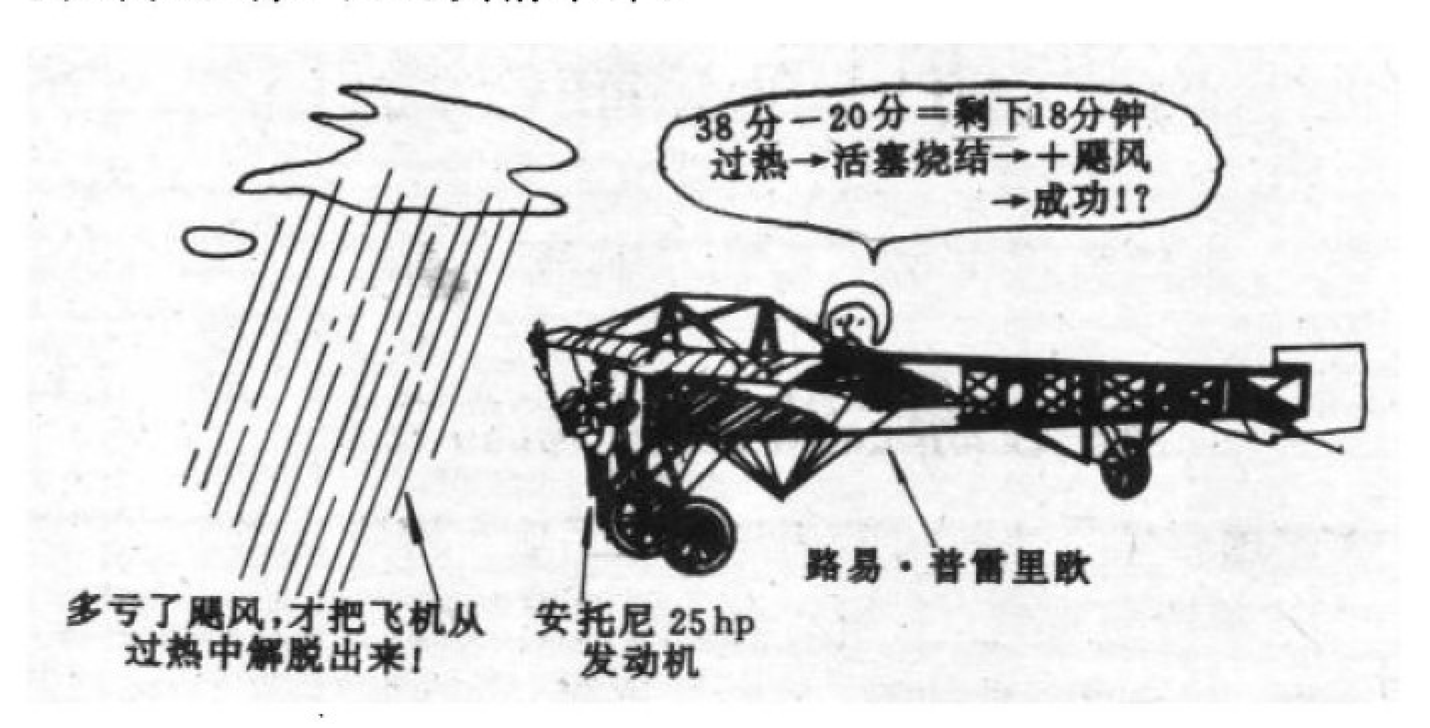
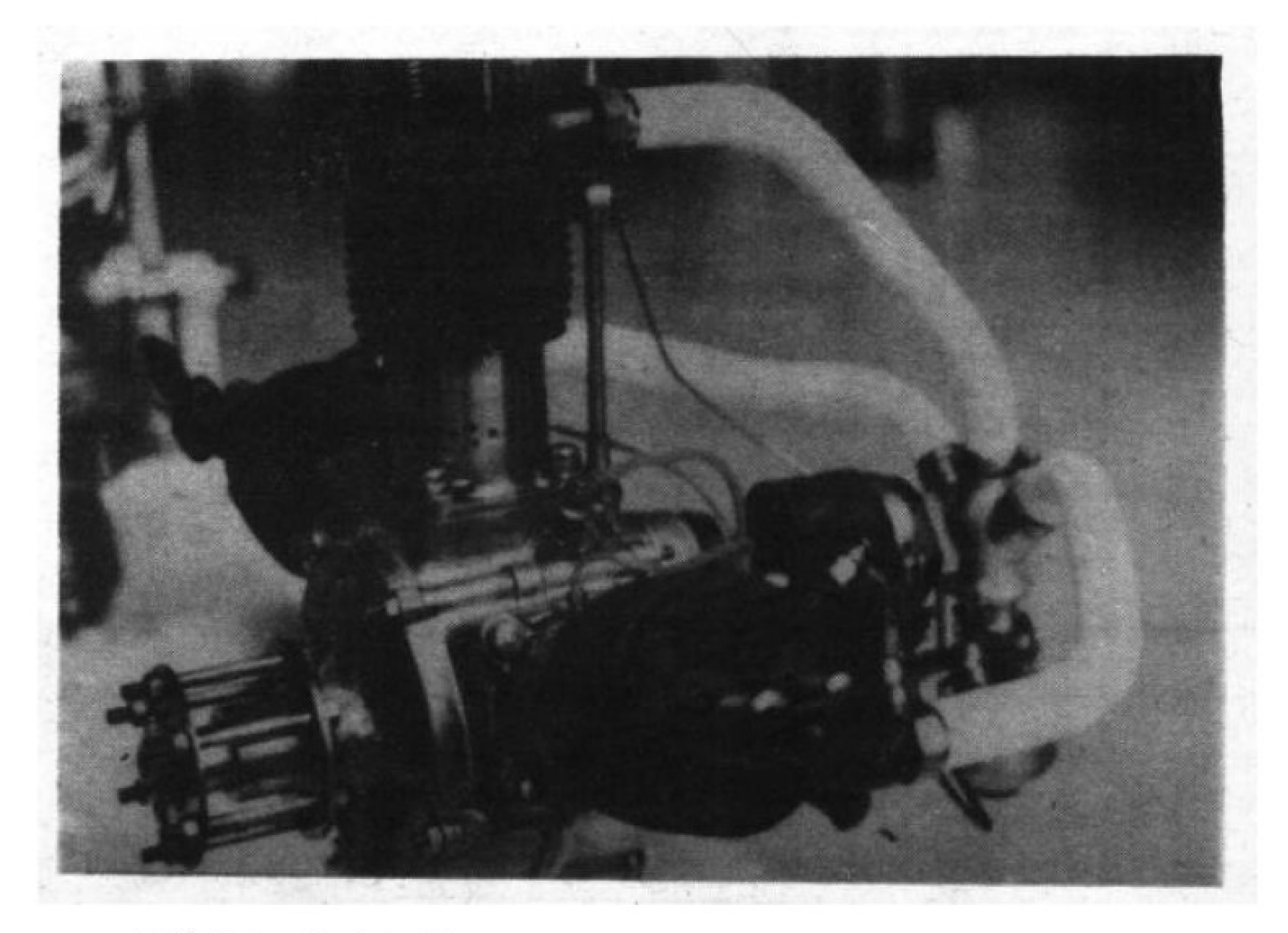


图8-1　普雷里欧架机横跨多佛尔海峡（1909年）。装用的安扎尼发动机（排量2800mL、功率25hp）险些烧蚀

照片8-1　莱特双翼飞机用的发动机。曲轴箱上有两处较大的龟裂，打了补钉（照片下部中央）（美国海军航空博物馆）



照片 8-2　普雷里欧单翼机装用的发动机。现在陈列于巴黎航空博物馆

战后，发动机的突发故障迅速减少了，人们开始对发动机的寿命评头品足。轿车的发动机，在发展初期，用户就要求其寿命要满足出租车的使用条件。1955 年前后出租车的大修里程为 7 万～8 万公里，到了 60 年代一般达到 12 万～15 万公里。今天的出租车大修里程已在 30 万公里以上。

上面记述的大战期间的航空发动机寿命，虽然按车用发动机来换算十分牵强，但我还是勉为其难地推算了一下，大约相当于 3 万～5 万公里。

商用车，特别是普通载货卡车（一般所说的大型载货卡车）用发动机，在 1960 年前后的大修里程为十几万公里，但最近跑 100 万公里也不足为奇了。

在磨耗故障形态中，最多的是活塞和活塞环以及气缸引起的机油消耗增加，而用户要求的每升汽油的行驶里程，也如图 8-2 所示，正在逐年增加。另一方面，在这一背景下，载货卡车的功率

如图 8-3 所示，正在不断增加。

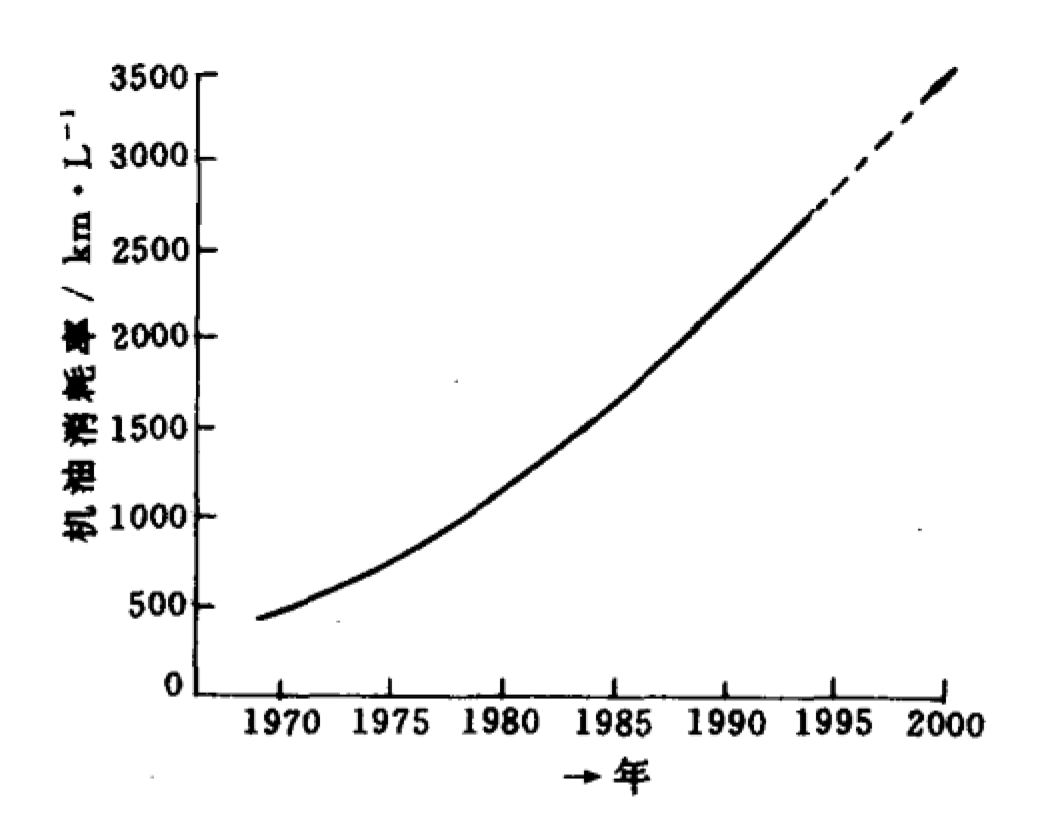


图 8-2 机油消耗率（km/L）的推移（大型载货卡车）

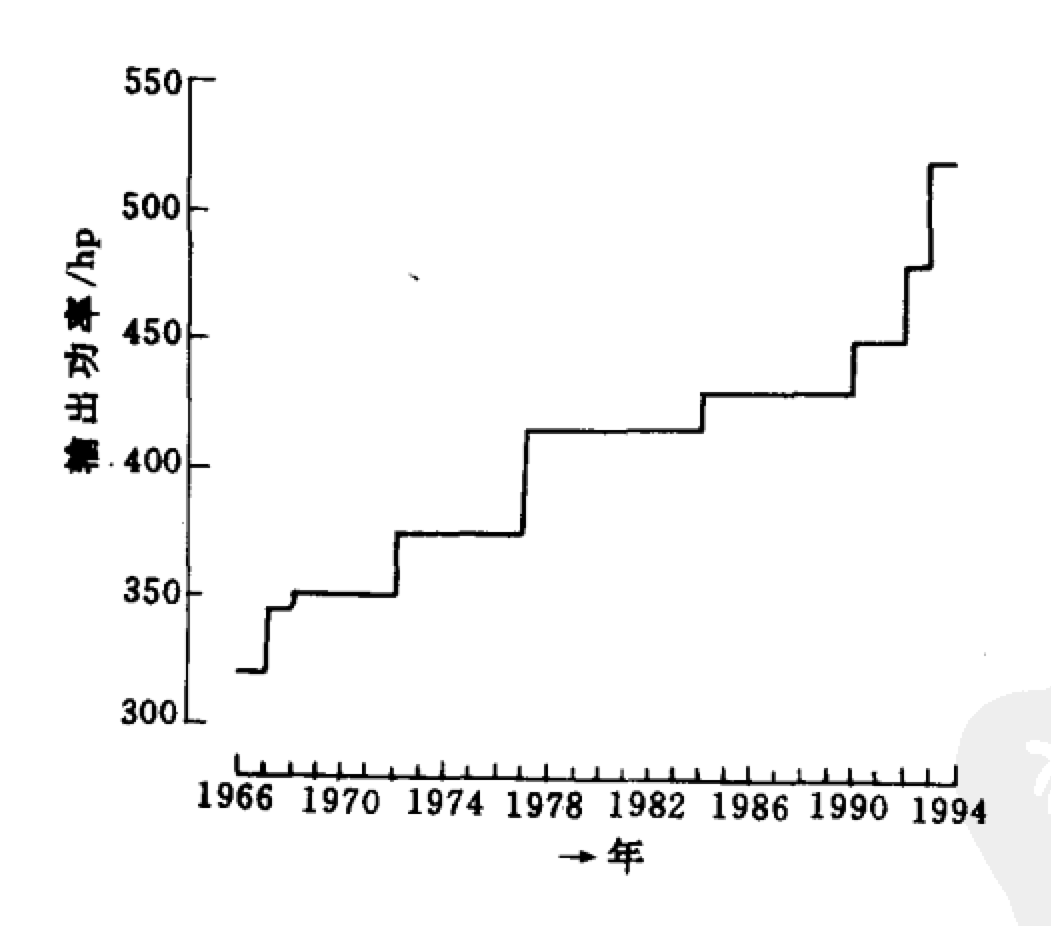


图 8-3 大型载货卡车的最高功率的进展情况

硼缸套的发明

下面我想引用战后载货卡车的发动机在探索降低机油消耗和

提高寿命过程中的一个例子。

1963～1965 年，日野汽车工业公司为了满足用户提高寿命的要求，开展了提高发动机寿命的课题研究工作。课题研究小组取了发动机寿命（engine life）的英文字头，命名为“EL 委员会”。由发动机设计部门当时的岩崎部长领衔，后任的关口部长也参与了这项工作。他们自如地运用了正规的故障分析方法。如图 8-4 所示，首先他们从最根本的防止灰尘进入抓起，其次改善冷却水温，使之保持适宜的温度。因为当时就已经认识到，当缸壁温度在 80℃以下时气缸磨损迅速。

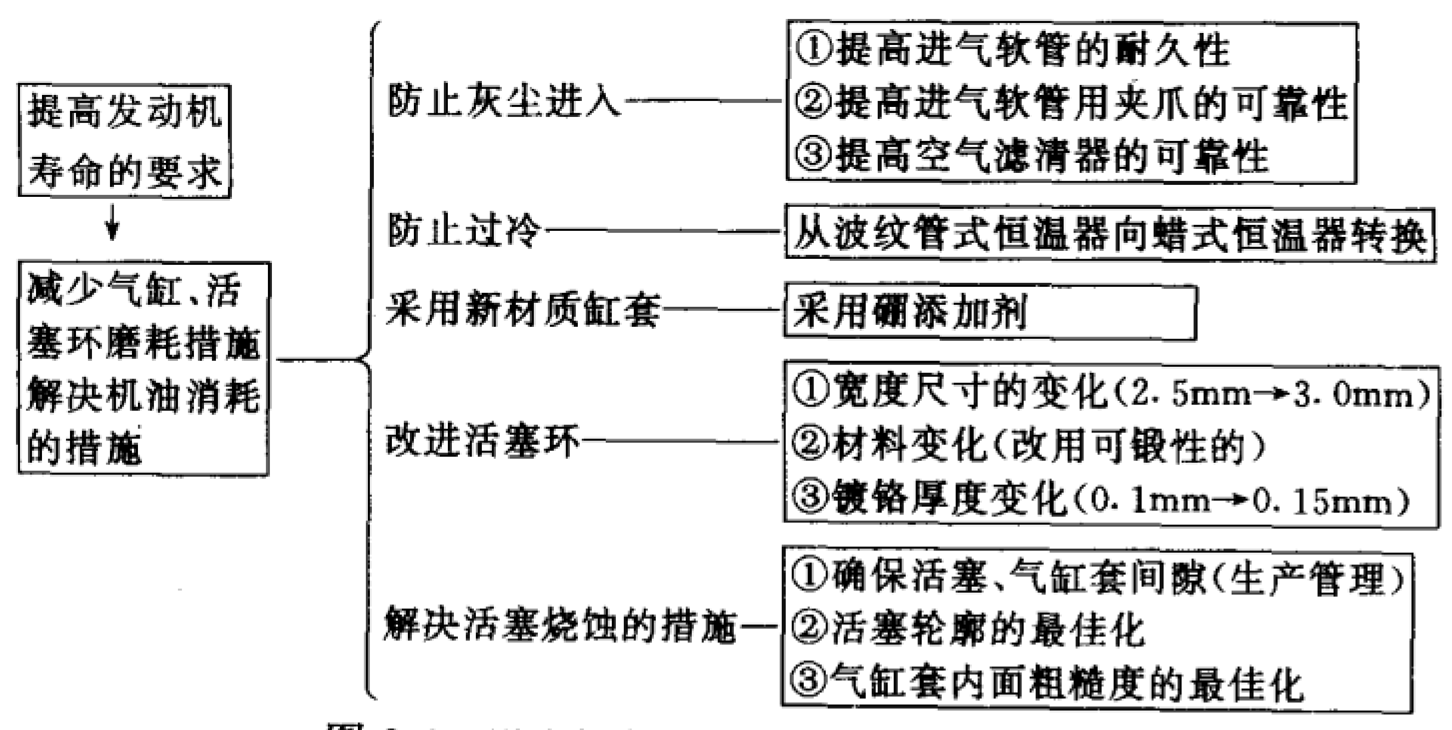


图 8-4　影响发动机寿命的主要因素及改善措施

为了解决活塞烧蚀，从那时起就提出了气缸内面状况以及活塞、活塞环的匹配措施，当然，今天也是如此。但是，当时最大的收获莫过于研制出硼缸套（加硼铸造的缸套）。图 8-5 示出硼缸套的磨损试验结果的一例。但是，由于表面油槽形状不合适，所以这里镀铬缸套的磨损非常严重，这不是普遍结果。总之，由于采用了硼缸套并佐以图 8-4 所示的一些措施，使发动机的寿命有了飞跃性的提高。

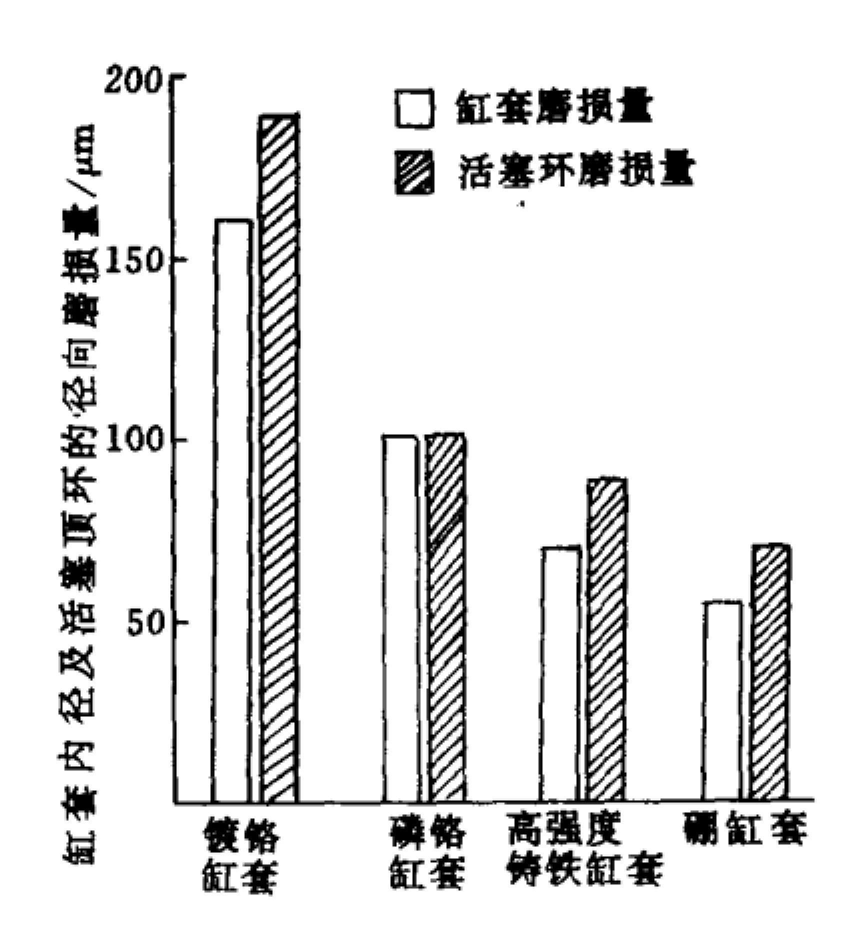


图8-5 缸套的材质不同，磨损状况也不同。DS50 型发动机(2000r/min、3/4 负荷，运转 200 小时，管道杂质投入量 JIS 第 8 种 150g，JIS 第 2 种 15g) 采用硼缸套，一举提高发动机寿命

硼加添铸铁的金相组成大致如图 8-6 所示，图中示出的含有硼碳化物的、称作特殊斯氏体的化合物在耐磨方面起主要作用。下面引用一下发明人高尾勤博士的一段说明。

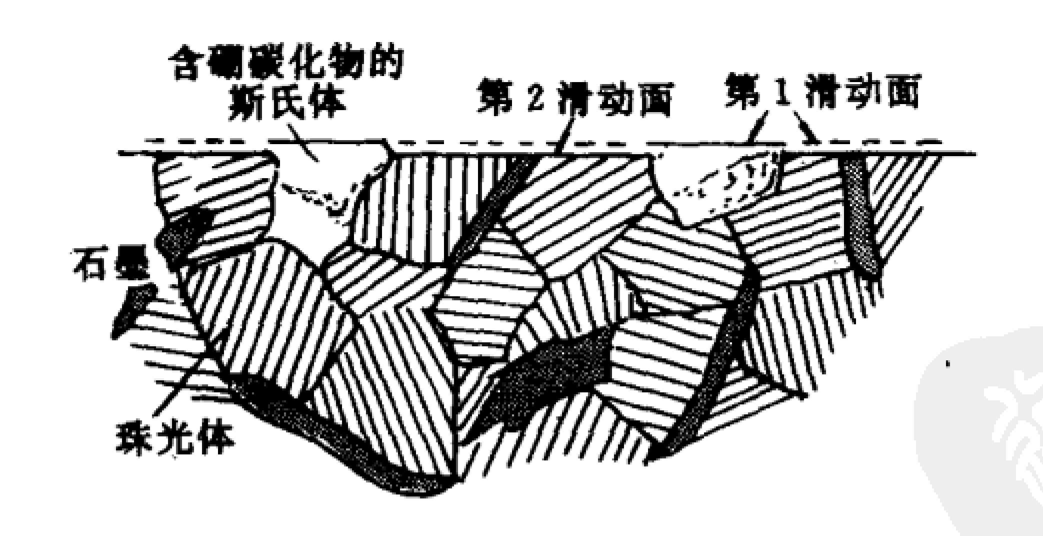


图 8-6 加硼铸铁的组成（气缸滑动部位的断面图）

“依存于特殊斯氏体的高硬度斯氏体具有很强的抗磨性，因此磨损的进展比其它部位稍微迟缓些。即，一看磨擦面便知，特殊

斯氏体形成了第一滑动面，而基体——珠光体和石墨比它的硬度低，磨损得稍快些，故比特殊斯氏体稍微凹下去一些，形成了第二滑动面。因而，从具有湿润性的第二滑动面的凹部不断地对磨损对象材料补充润滑油，在特殊斯氏体上面，持续着安全且磨损少的动作。即使对象材料是镀硬质铬的表面，因为从硼铸铁的第二滑动面不断地得到补充润滑油，又是在第一滑动面的超硬化合物上面滑动，所以能进一步发挥耐磨性。这恰似称作17钻和21钻的手表里，硬质特殊钢的轴心在那些坚硬的宝石上面长期不磨损。因而只要润滑油不消耗完，多少年也不失准，一直准确地运转着是一个道理。”

提高发动机寿命的主要因素

硼缸套的发明的确是一个划时代的技术进步。R·芒罗博士从宏观的角度对今天提高发动机寿命的主要因素作了如下概括。

1945～1950年　加添清洁剂的润滑油的发明和低膨胀铝合金材料的普及

1955～1960年　Alfin、耐蚀高镍铸铁活塞环槽镶嵌法（为防止活塞环槽磨损，环槽部分镶镍合金环的方法）的发明

1968～1970年　缸套采用平台珩磨工艺

日野的发动机如图7-3所示，寿命有很大提高。我也效仿芒罗先生，将促进发动机寿命增长的主要因素归纳如下：

1965～1970年　采用硼缸套

1970～1975年　采用直接喷射发动机

1975～1980年　采取解决热负荷的措施，改进了高分子材料

1980～1985年　改进了冷却系

今后随着新材料的发达以及电子技术的发展，故障诊断技术水平会进一步提高，发动机会越发延年益寿。

9. 又一个天才——萨迪·卡诺

服兵役期间闪现的念头。在复习前人著作时萌生了构想。

无法实现的卡诺循环

为了提高发动机的效率，在燃烧前压缩混合气的设想，如前所述是由博杜·罗夏提出来的。但是，早于他 38 年，也就是在奥托发动机问世前 52 年，有一个人就预言了这一理论。这个人就是大名鼎鼎的萨迪·卡诺（Sadi Carnot）。1824 年，卡诺在《关于火力动力及其发生的内燃机的考察》一书里，揭示了构成所谓卡诺循环原理的学说。当时卡诺仅 28 岁。

卡诺对封入空气的气缸和活塞进行了考察，并且阐明，即使假定发动机没有任何热损失，其最大效率是由最高温度和最低温度之差决定的，也绝不可能是 100%。也就是说，就现在的发动机而言，热机最大效率等于爆发时的温度除以气缸里爆发时的温度与大气温度之差。因为实际的发动机有各种热损失，所以效率远远低于这个理论值。

现在，我们正设法为将发动机的效率提高哪怕仅 1%，将油耗降低一点而进行潜心研究。图 9-1 示出由于努力改善燃烧状况，效率逐步提高的例子。图中的卡诺曲线是假设根本没有热损失的情况（另外，图中的绝热发动机将在下一章介绍）。我们现在正朝着 150 多年前一位 28 岁青年指示的目标逼近。其实，现在我们正按卡诺所说的，努力提高最高温度，尽量扩大温差。

但是，遗憾的是，人类永远无法达到卡诺提出的效率。后来有许多人对卡诺提倡的这种理想发动机进行过研究，把这种理想

发动机命名为卡诺发动机。并且得出这种发动机是不可能实现的结论。实际上，这就是被称作热力学第二法则的基本原理。

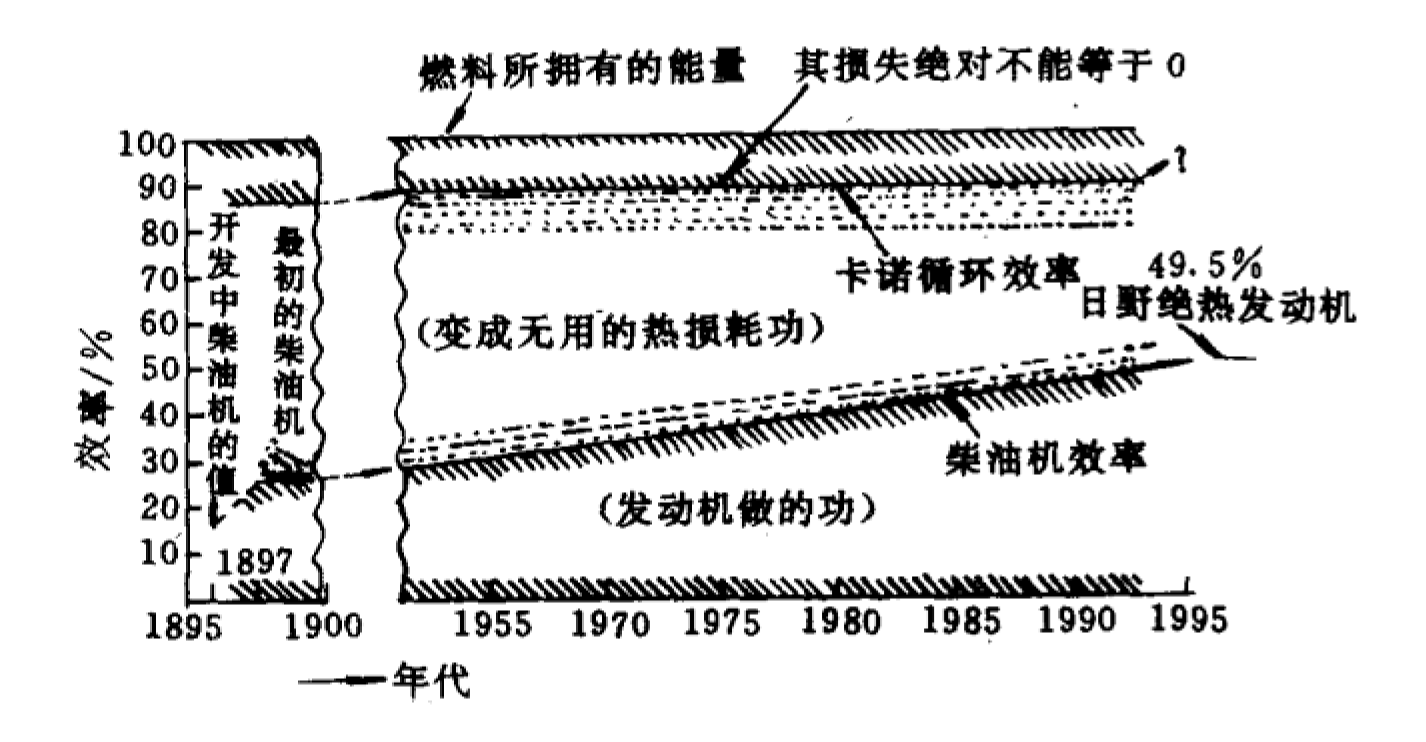


图9-1　发动机效率正在逐年提高，无用的损失正在减少。卡诺循环是按燃烧温度为2300℃，大气温度为15℃计算的。柴油机面世时，燃烧温度比现在低

尽管如此，一看图9-1就会感到震惊：竟有那么多的能量白白地浪费掉了。粗略地讲，1/3的能量用于工作，1/3的能量因排气热而损失，剩下的1/3能量则因冷却热而丧失。排气的排气热、散热器热，以及发动机本身热，都属于这种热损失（图9-1表示），但是人类正在努力逐步减少这种热损失（参考附录A9）。

卡诺的远见卓识

卡诺的另一个惊人之举就是，在蒸汽机的鼎盛时期，他提出了“只要以蒸汽为媒体，高低温的温差就有限度。为了脱离这一限制，应制作使用大气，在点火前进行压缩的发动机”的学说。这一学说不仅如实地表达了后来的内燃机的设想，而且也确切地预言了最近蒸汽机车的衰退（照片9-1）。也就是说，如果考虑蒸汽机车只利用了所耗能量的10%，那么衰落是情理中的事。但是，蒸汽机超乎想象地长久存在，1933年还被应用到飞机上，最近几年





照片9-1 （上）牵引过乔治5世和伊丽莎白女王专列的加拿大国家铁路的6400型机车，如今也静静地停放着（渥太华国立科学技术博物馆）；（下）高速道路之王——牵引车

又作为汽车用发动机加以研究。

在卡诺的著作里，更令人刮目相看的是，竟然归纳出与现在完全相同的评价项目，诸如油耗、可靠性、寿命、大小（重量）和成本等。它们之间的关系如下：

“正确评价的简便性和能够实现的经济性，把最重要的项目与

附属项目加以区别，并使之协调，以便用最简便的方法，达到最好的结果。参与开发的技术人员应具备完成这些工作的良好素质，具有指导有关部门和部下工作并带领大家努力实现目标的责任感。”

对于现代开发部门的基本要求，在当时就全面地提出来了，真是了不起！对于我们现代人来讲，唯一赖以自慰的是，天才的卡诺尚未涉及排气污染问题，未把它列入评价项目。

然而，读了卡诺的著作，发现他不仅很好地总结了盖·吕萨克、特鲁通等许多前人的实验结果，而且有效地进行了应用。不管多么有天才，光是眼睛望天，也不会想出好主意的。当问题摆在面前时，首先要重温前人的经验，整理资料，认为有道理，然后再加以考证。这一铁的原理我们是可以从本世纪的著作里学到的。

服兵役期间的大作

据传记记载，卡诺在ECOLE工业大学读书期间，应征入伍，在拿破仑部队当兵，1828年退伍。而他的著作是在1824年出版的，所以应该是在服兵役期间完成的。利用紧张的军旅生活中的空暇，常常探讨问题的卡诺精神，实在令人折服（图9-2）。但是，他的学说在当时没有被人们接受，埋没多年。据说在多年以后，经他的同学赫拉贝龙，再到后来又经汤姆森作了浅显易懂的解释，终于得到人们的承认。由此可见，一个人的意见或者假说，在征求周围人意见时，应想方设法使对方理解。也可能是见解越高明，越让人费解的缘故吧。

有人说，使理科学生头疼的熵的符号S，就是取了萨迪·卡诺(Sadi Carnot）的姓氏字头的。可惜，这位天才在36岁时，因患霍乱病而早逝。

虽有画蛇添足之嫌，我还想补充一点。19世纪初，欧洲的平

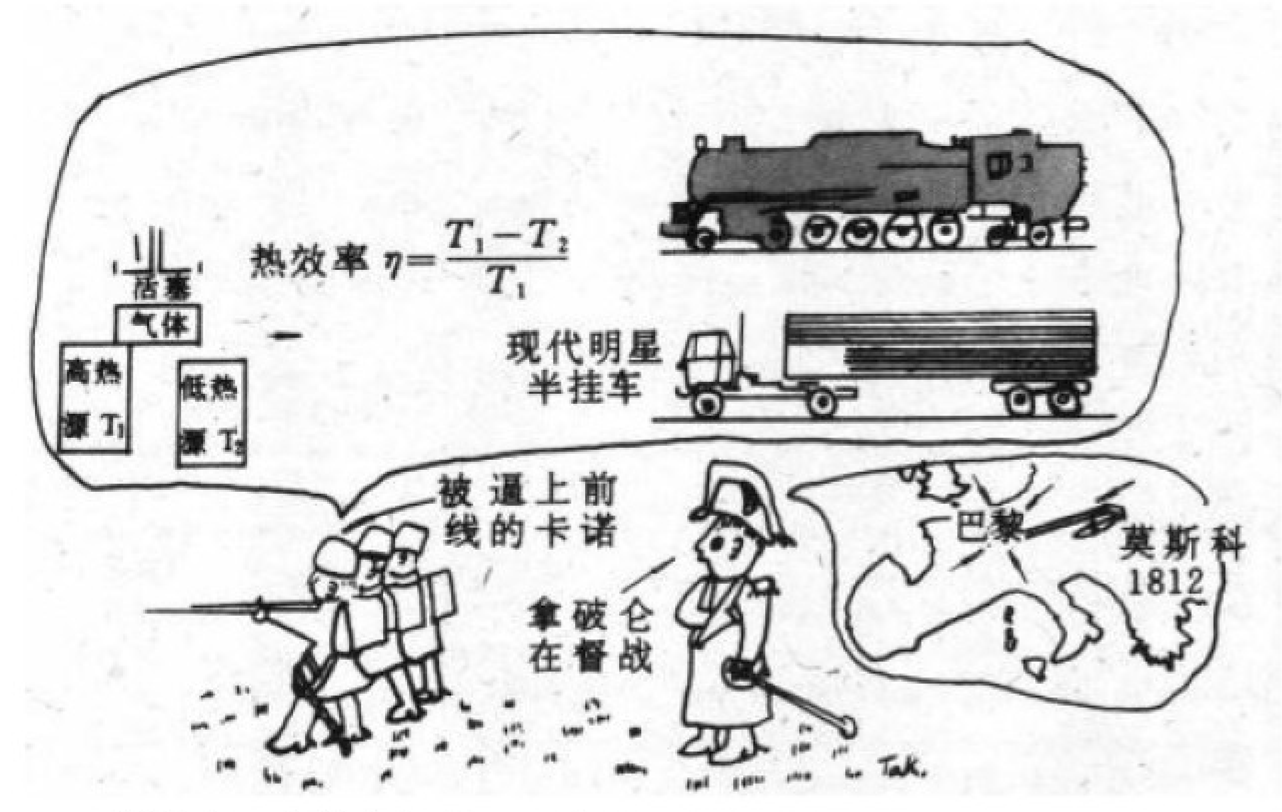


图 9-2　卡诺参加了 1814 年的滑铁卢大战，1824 年脱下军装



照片9-2　卡诺的母校——巴黎工科大学 ECOLE POLYTECHINI QUE 的正门，现在改作军官学校

均寿命大约 30 岁，所以卡诺也不算早逝。后来人们的寿命迅速地延长了，这得益于珍纳发明的牛痘苗以及产业革命使人们的生活水平提高了。而产业革命的开端便始自上述发动机的发明，它是

人类延年益寿的一支前奏曲。

1979 年的一天，我因仰慕卡诺，前去拜访卡诺曾经学习过的巴黎工业大学。很遗憾，校门紧闭。从学院里走出来的一位年青人告诉我说："这里现在是军官学校，工业大学已迁到巴黎郊外。"（照片 9-2）。

附录 A9　发动机的有效能与无效能

工作于高热源 T_1 与低热源 T_2 之间的热机，即使可逆工作，其最大效率 η_r 根据卡诺原理可由下式求得：

$$\eta_r=\frac{T_1-T_2}{T_1}$$

按照热力学第二定律：热不从低温向高温传递，即可逆机不成立的法则，热机的效率肯定低于 η_r。因而，热量 Q 作功所能使用的热量，是由热机工作的外界温度 T_2 决定的，无论如何可逆，都不会得到高于 η_r 的效率。

Z·兰特主张，既然这种热量无法提取，那么我们姑且不去管它，研究如何提高真正可以利用的热量，岂不更有道理吗？德语把可以利用的热量称作"Exergie"；英语称作"availability"将不能利用的能量分别称为"Anergie、Unavailable energy"。

换言之，以燃料具有的热量为基础的热效率（根据热力学第一定律也称作效率），能够表示热量除了发动机的输出功率以外，是怎样流失的。但是，却不能表示由于热量恶化，怎样使输出功率减少的，即不能表示热量取用方式的优劣。为此，根据卡诺原理，兰特主张就以能提高获取最大热量为基础的效率（根据热力学第二定律也称作效率），进行研究。

图 9-1 示出无效能的损失绝对不等于 0，而有效能是从 100% 的效率里减去无效能得到的。

为了提高发动机效率，就需要尽量更多地获取有效能，尽量减少有效能的损失。

设有效功为 W，卡诺发动机所做功为 W_{max}，大气温度为 T_1，则下式成立：

$$W = W_{max} - T_1 \Delta S$$

式中，ΔS——熵的变化，$\Delta S = \Delta S_1 + S_2 - S_1 \geqslant 0$；

ΔS_1——周围的熵的增加量；

S_2、S_1——变化前后工质的熵。

由于绝热发动机的绝热方法，在燃烧开始，温度上升的情况下，有效能损失怎样变化的研究举例示于图 A9-1。

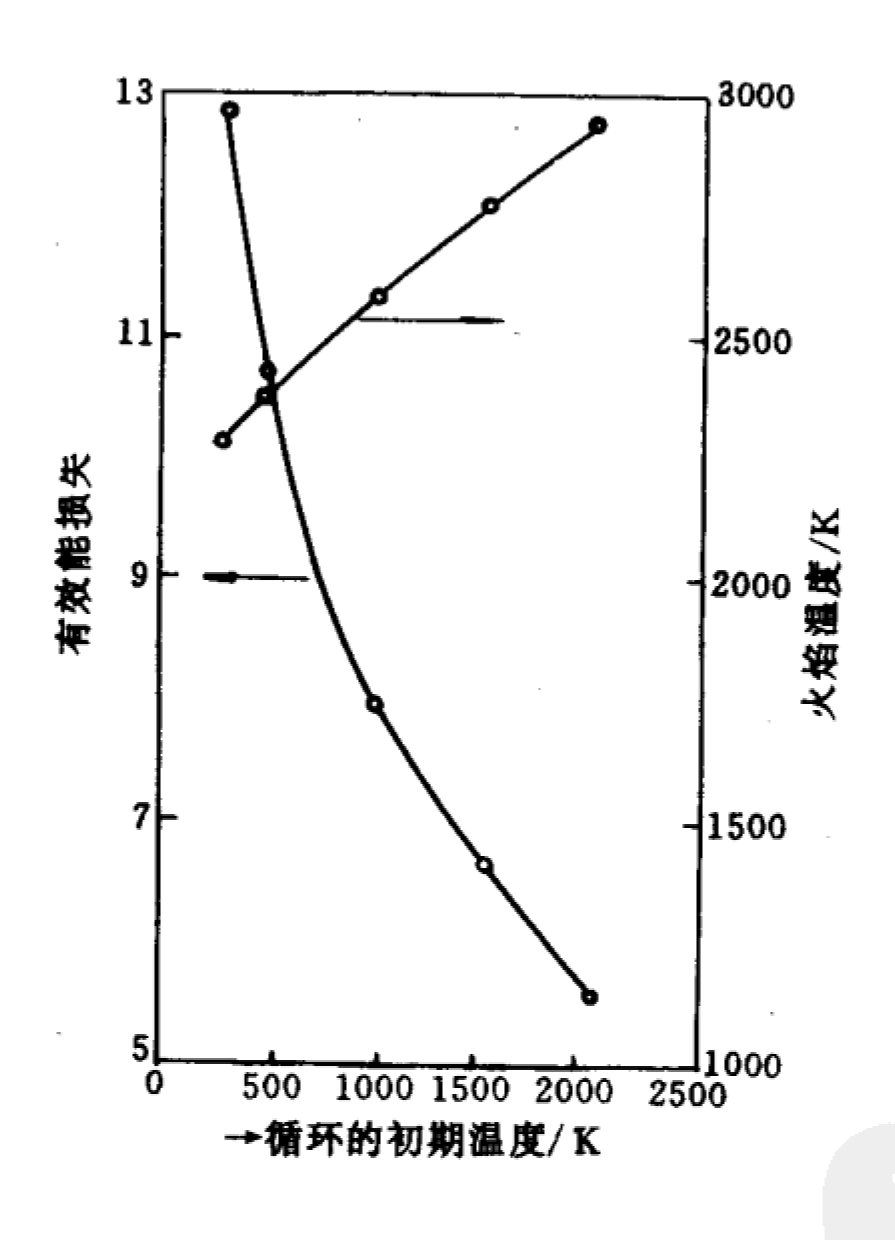


图 A9-1　绝热发动机有效能损失的例子（ASME BOOK No. 100262）

10. 卡诺的理想——绝热发动机（1）

诺门坎战争教训与绝热发动机。汽车实现获得的能量很有限。

马斯基法规的实施

1975年，美国ERDA（能源研究开发厅）指示各个汽车制造厂，要求在今后10年内，即到1985年要开发出轿车节能30～50%，载货卡车节能23%，客车节能20%的汽车。

1957年是美国决定实施所谓“马斯基法规”（由参议院议员马斯基提出的将汽车的排放量减少到1/10的提案）的一年。自这一法规被通过的1970年起，世界各国汽车行业的工程技术人员都曾向这几乎不可能实现的严峻目标挑战。然而，由于1973年的石油危机，石油资源问题顿时突出出来。另一方面，尽管技术人员拼命攻关，无奈排气净化技术壁垒森严，以致于担心采取排气净化措施会增加油耗。

美国从国防角度非常重视节能，所以马斯基法规由1973年、1974年、1975年、1977年连续延期实施。即使到80年代，也只有加里福尼亚州准备从1982年开始实施。众所周知，日本在1978年按照与马斯基提案基本相同的限制值制定了法规，由于行业界的努力，达到了限制值（美国对所有州的限制是在那以后，1981年确定了对氮氧化物（NO_x）的限制值为1g/mile，马斯基提出的0.4g/mile的方案最后仅为日本和加里福尼亚州所采纳）。

对大型柴油机的限制情况与之大同小异。加里福尼亚州曾决

定自 1975 年起，NO_x 和 HC 的排放量合起来要限制在 5g/（hp·h）以下。但是，到了 1980 年，却又说要从 1983 年开始实施。之后，加里福尼亚州规定自 1984 年起 NO_x 限制值为 5.1g/（hp·h），其它州规定从 1990 年起 NO_x 限制值为 6g/（hp·h）。而日本在 1983 年就已经实施同等水准的限制了。但是美国所有州决定从 1998 年将氮氧化物限值降到 4.0g/（hp·h）以下，并考虑采用无公害汽车。另外，加里福尼亚州决定：自 1995 年起，对于大型载货卡车中使用较轻量级发动机者，按重量分 1.3～2.77g/mile 车辆，以及 1998 年以后，作为低公害车，引进一定数量的排放氮氧化物和微粒状物质极少的车辆。

绝热发动机的设想

在 1975 年的那种背景下，美国的工程技术人员，特别是载货卡车发动机的专家们，开始由排气净化的研究转向节能的追求，开始向艰巨的技术革新挑战了。其技术革新之最便是绝热发动机。

如前所述，燃料所具有的热量的 1/3 被冷却掉了，1/3 作为排气丧失了。绝热发动机的设想就是把这些失去的热量再收回来。

根据横穿多佛尔海峡的普雷里欧驾机上装用的安扎尼发动机，由于飓风才幸免于烧蚀的传说，我们不难想到：发动机如果不冷却，不仅活塞和活塞环会烧蚀，所有部位都会因炽热而损坏。可怕的是，热所造成的损坏，即使不立即发生，也会慢慢地蚕食发动机的寿命。反之，如果加以改进，发动机的寿命又可以得到延长（参考第 8 章）。为此，从古至今，对冷却问题的确倾注了许多人的智慧，良好的冷却产生精美的车辆和飞机；不良的冷却产生拙劣之作，甚至于关系到一个国家的存亡，此事请容后述。

对减少冷却损失的这一重大课题进行挑战的是，当时在美国康明斯公司工作的美藉日本人第二代后裔——加茂·罗伊工程师。他使用陶瓷材料制作了活塞、气缸、气缸盖以及进排气阀。由于采用了陶瓷件，使之在极高温状态下也没有损坏，发动机竟然

在无冷却水的状况下运转了。

然而，仅仅冷却问题有了些眉目，但发动机的效率却没有提高。即没有被冷却的热量，使气缸内的温度相应地升高了。因而，高热源的温度上升，排气温度也上升，故从排气阀排出的热量也增加了。要想回收特地不冷却而保存下来的热量，就得设法运用这些被排放出的热量。

活塞发动机当活塞下降到最下部时，气缸里的气体还有相当高的压力和温度。但是，为了准备下一个行程，不得不将这些气体从排气阀排出。正是因为个缘故，汽车的排气管才不断地排放热气。战时52型战斗机的排气管，之所以从气缸向后一根根地安装（照片10-1），就是为了尽可能地利用喷出的能量来提高速度。



照片10-1　52型战斗机排气管从发动机的气缸上一根根伸出（严密地讲，从14个气缸上伸出12根），用排气来提高速度

如果利用排气能使涡轮运转来带动空气压缩机，再将被增压的空气送入气缸，那么用于发动机压缩空气的能量就相当可观了。这就是所谓的排气涡轮增压。但是加茂的绝热发动机，因为排气热增加了，即使在驱动空压机之后，排气中仍剩有大量的能量，因此再次转动涡轮，然后使能量直接返回曲轴。

尽管排气两次驱动涡轮，但还是热的。于是又利用这个热量给水加温使之产生蒸汽，驱动蒸汽涡轮，把它也接在输出轴上。

图 10-1 示出绝热复合式发动机的构想图。就是这样使发动机的排气转为排放能，下一步再彻底地利用这种排气能。这就是加茂绝热发动机的构想。以这种发动机为基础，配上辅助发动机的结构叫做复合发动机。复合绝热发动机的热效率得到怎样的改善，可见图 10-2。

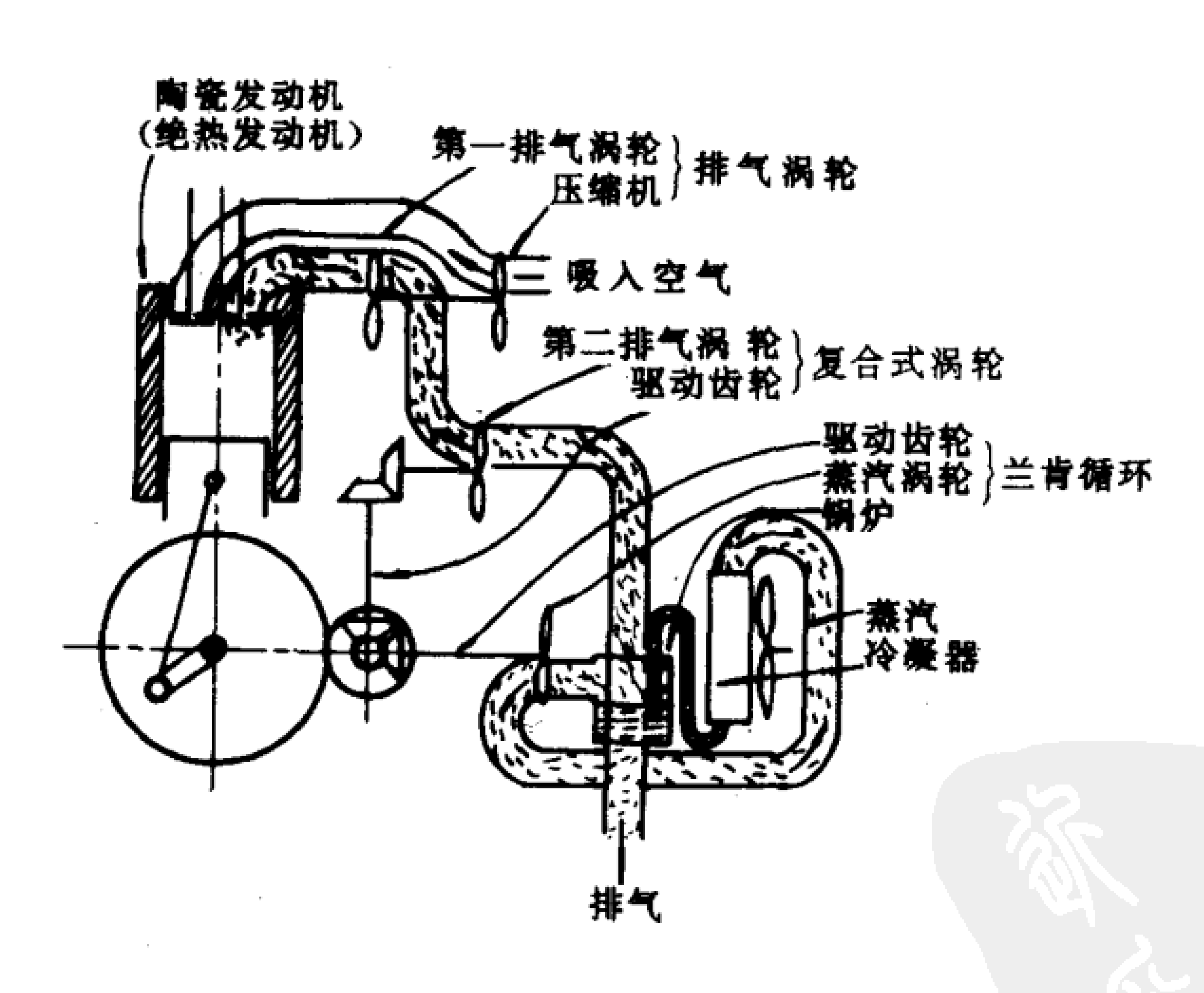


图 10-1 绝热复合式发动机的构想

如果看了图 10-2 所示的数据，就会注意到，绝热发动机虽然不错，但是冷却损失并不比想象的减少（29%→25%）。因为尽管不需要冷却水了，但是从轴承和其它滑动部分散发出的热量，需

要用润滑油冷却，故以减少冷却水损失为目标的途径，却收到了减少排气损失的效果（参考附录 A10）。

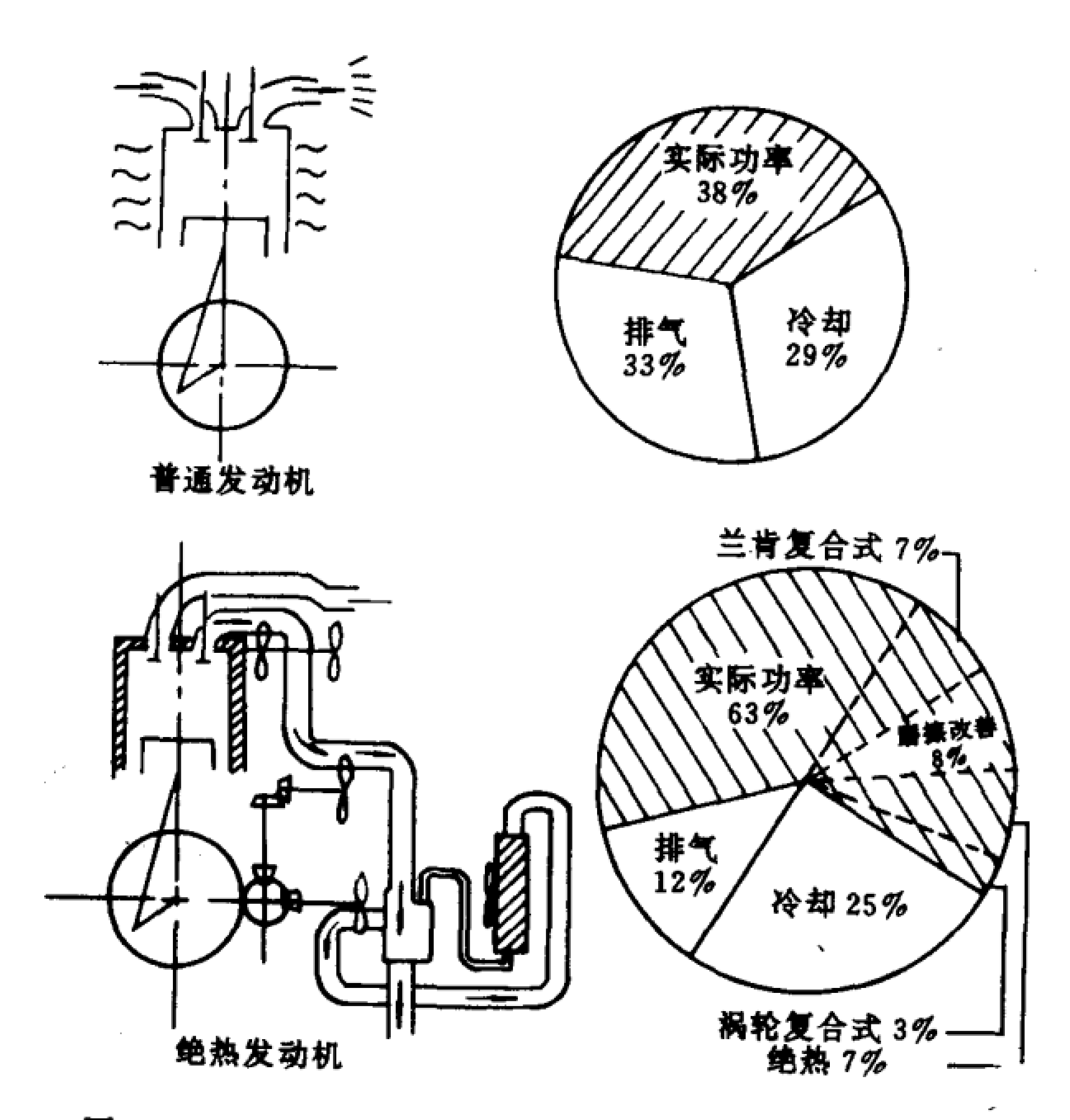


图 10-2　绝热复合式发动机效率增加，功率由 38%提高到 63%

战争与科学技术

实际上，康明斯公司从事这项研究的大部分经费是由美国陆军提供的。军方之所以投资是因为如果把这种绝热发动机装在坦克上，那么就不需要开散热用的通风孔了。这样就可以避免从通风孔飞进来的敌弹了。当然，还有绝热发动机的油耗降低了，可以延长连续行驶距离，在热带也能行动等诸多优点。

1939 年日苏军队在中蒙边境——诺门坎交战。当时，前苏联的精锐的 BT 型坦克出现时，日军束手无策。最后采取了从散热通

风孔投入燃烧瓶的攻击方法（图 10-3，参考第 24 章）。



图 10-3　空气冷却口乃是坦克的弊端（参考田河水泡的“野良黑少尉”绘制的）

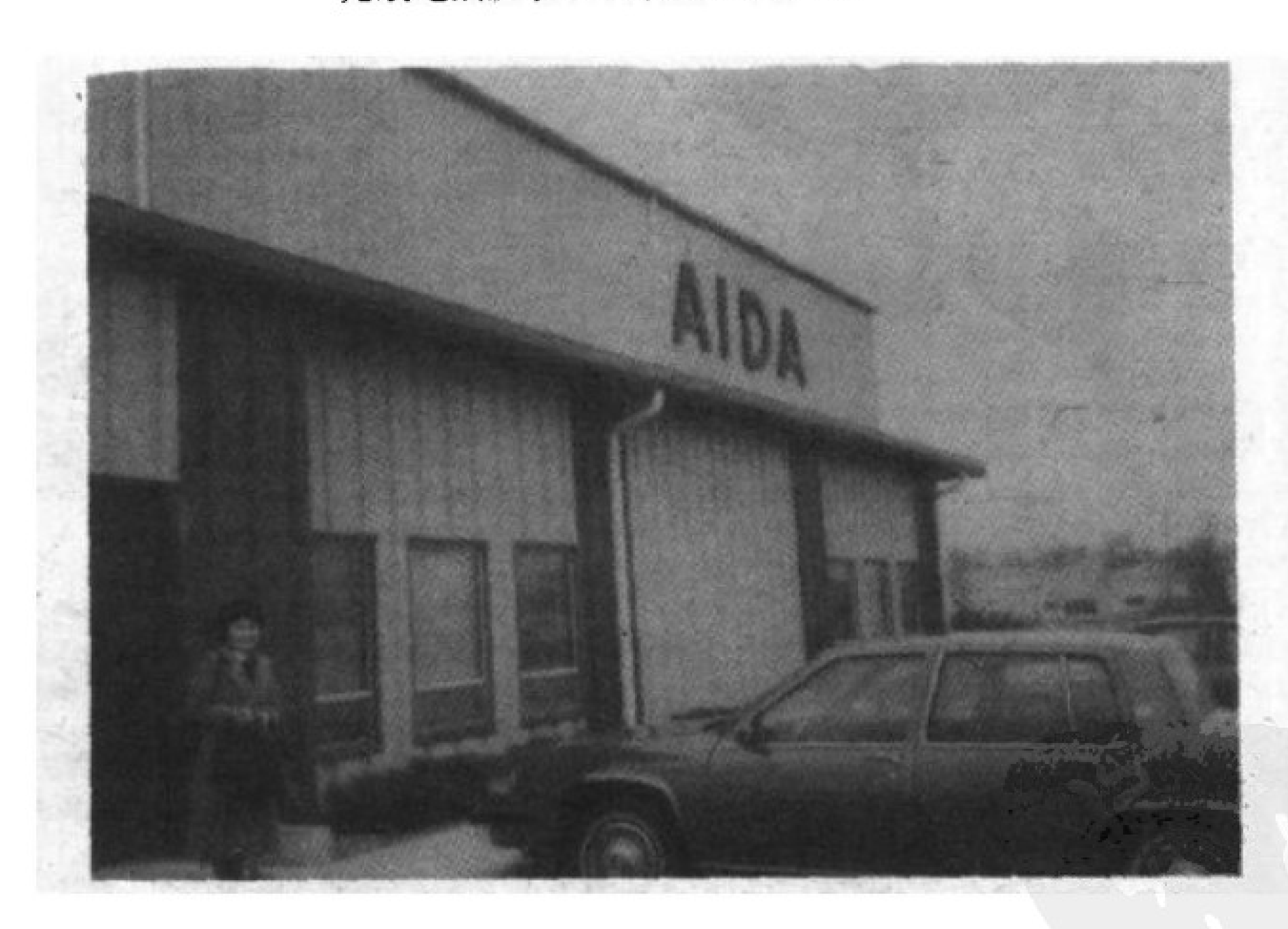
由于这项研究得到美国陆军的支持，不由得使人想起悲惨的战争史而令人痛心。难道没有战争，就没有科学技术的发展，并且到今天也不会有吗？棚泽泰教授把这一点比作科学技术的一个阴暗面，他阐述说：“战争是与人类休戚相关的本能的‘行为’，而技术则是战争的最有力的协从，有时也主动参与……。伪装成‘追求真理’的科学，以‘爱人类’为中心的科学，暴露出多么脆弱的阴暗面啊！”

值得幸庆的是，现在日本长久以来处于远离战争的和平环境里。但是我们不能仅限于埋头科学，应对战争有刻骨铭心的认识。

说点题外话，加茂先生绝不是好战分子，是位对节能注入满腔热忱的工程师，还是一位下班后喜欢在自己家的菜园里栽种大萝卜的人道主义者。他在美国的家庭菜园大致有 5000m²，加茂先生买了一台二手货拖拉机耕种萝卜地（照片 10-2）。他从康明斯公司退休后，仍未割舍对绝热发动机的追求，成立了 AIDA（绝热研究所），现在依然在为绝热发动机的崭露头角作不懈的努力（照片 10-3）。



照片10-2　手拿用日本菜籽栽培的大萝卜，梦想完成绝热发动机研制的加茂先生



照片 10-3　加茂先生成立的绝热研究所（AIDA），照片中人为加茂夫人

节能的根本

绝热发动机才是最能接近卡诺理想的发动机，是实现150年

前卡诺理想的一个良策。但是其可行性又怎样呢？遗憾的是，至今仍有很多不落实之处，一时很难推测它的实用时期。因为技术的产物，从获得确切的概念到投入使用往往需要经过许多年。例如，现在汽车上广泛使用的自动变速箱，从1930年发明后到第16个年头才得到应用。还有每天在我们头上盘旋的直升飞机，1904年发明后直到第37个年头才投入使用。

然而，为了节约能量，除了提高发动机效率以外，尽量无损失、有效地利用发动机的输出功率也同样重要。图10-4示出燃油

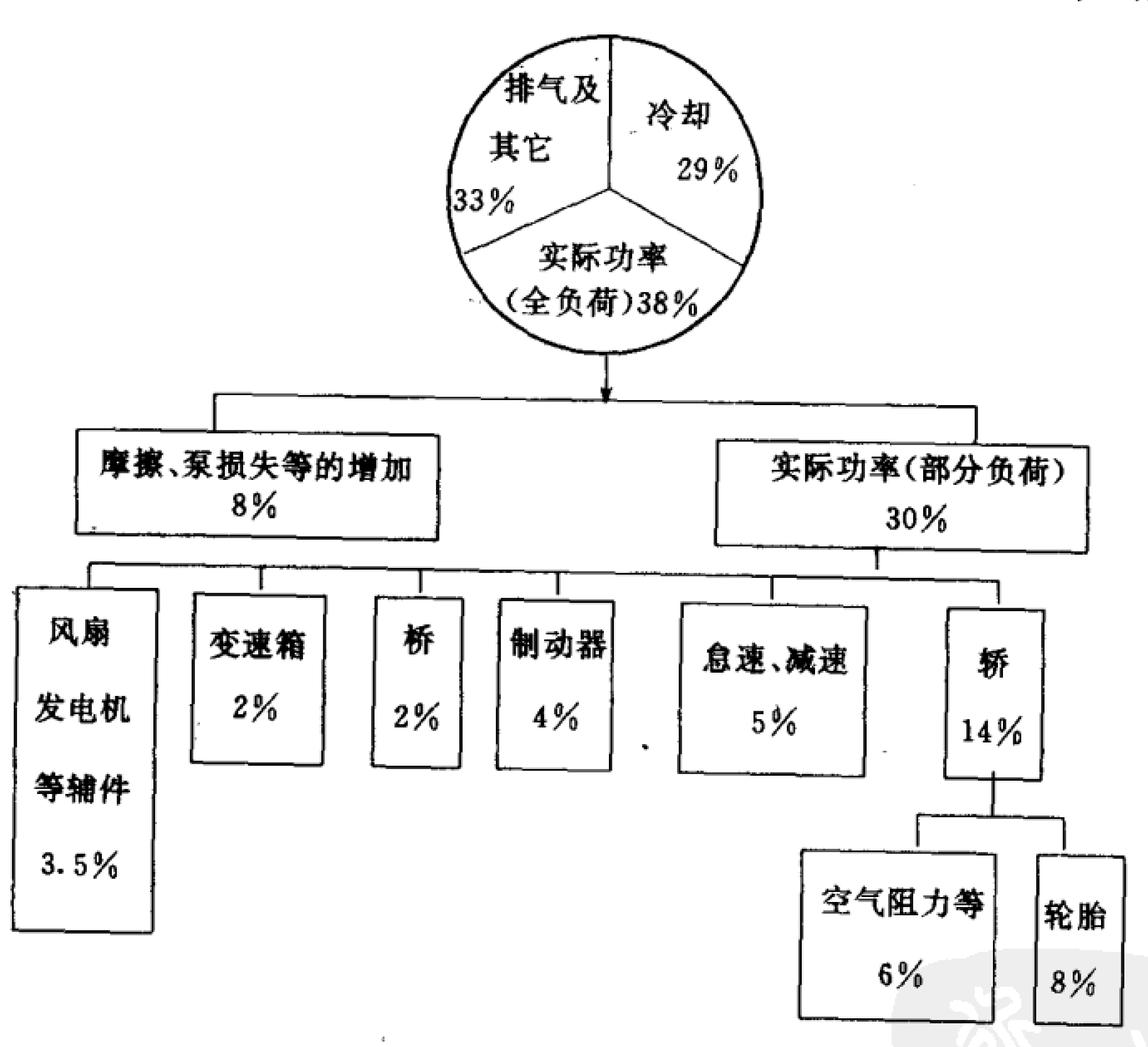


图10-4　与月薪袋的明细表相似的能量分配（参考 Pinkus 的数据，按柴油车推算的概略值），净收入只有8%

的能量，实际上在传递到轮胎的过程中是怎样损耗的。一看这张图，就会发出如同打开工资袋时的叹息，有这种感觉的恐怕不只是我一个人吧。

附录 A10　理论循环中的热损失与排气能的回收

因为理论循环不考虑冷却损失，所以热损失全部是排气损失。图 A10-1 示出奥托循环的例子。发动机在下止点还有 P_4 的压力，

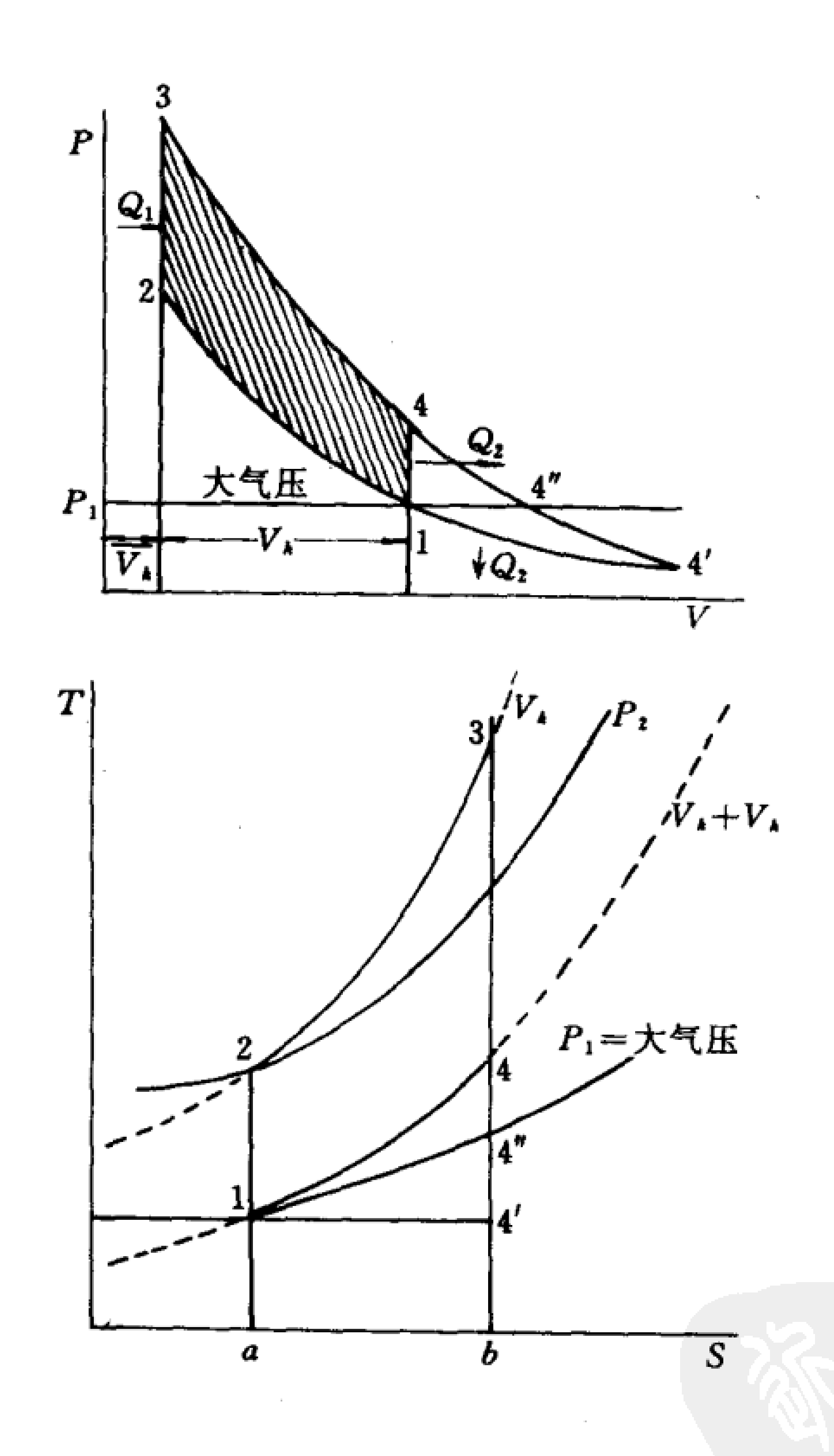


图 A10-1　奥托循环中的排气损失说明

而行程却在此终止，所以压力中的能量 Q_2 被排出。

为了回收排气能，可增加一个使气体进一步膨胀的容积，使之膨胀到大气压 P_1，那么就能回收图中 144″ 面积的能量。但是，

增加这么大的容积，发动机的体积就太大了，摩擦损失增加，实际油耗增加，有负所望。在这种情况下，不采用容积式发动机，而采用速度型涡轮，能量的回收就容易多了。因为在绝热发动机的概念中，两级使用增压用的空气压缩机，和进行齿轮传动的复合发动机用排气涡轮。实际上，P_4 值作为脉动量之最大值为 5～8 个大气压，(1 个大气压≐101325Pa)，所以采用双级涡轮便于有效地运用这个压力差。

即便如此，点 4″ 的温度仍高于大气温度。故先使气体绝热膨胀到大气温度，即膨胀到点 4′，下一步如能把该温度压缩至 1(即，使之等温压缩，放出热量 Q_2)，那么可以回收图中 14″ 4′面积的能量。由于是称作等温压缩的几乎不可能的过程，实现起来是极其困难的。

所谓兰金循环系指利用图中 14″ 4′面积的能量产生蒸汽，利用蒸汽驱动蒸汽涡轮或蒸汽机，回收能量的循环。从 T-S（温度-熵）曲线图可知，大气中的排气里还有能量。

11. 卡诺的理想——绝热发动机（2）

能实现低公害、低油耗的理想吗？应用绝热材料，增强了人们改善燃烧状况的信心。

五十铃与日野的挑战

在美国大搞绝热发动机的情况下，日本的汽车厂家——五十铃和日野，尽管彼此的构想截然不同，却不约而同地竞相推进绝热发动机的研究。两家的最大不同在于，五十铃使用整体成形的陶瓷来加工缸套和活塞；而日野使用将陶瓷复合在铁基体上的复合材料。从绝热的角度看，当然热传导率低的整体材料比复合材料好，但是日野的着眼点，与其说绝热本身，莫如说是更重视耐热，意在更多地回收排气热。

另外，对于排气能的利用，日野是通过涡轮把动力传递至曲轴的；而五十铃则尝试运转超高速发电机，把能量作为电力来提取。两家都煞费苦心，为开发出更完美的发动机而展开了激烈的竞争。

日野汽车工业公司自 1981 年就开始了对绝热发动机的研究。其理由如上所述，是为了及早地把握将来的节能方向，以及使用绝热材料来改进燃烧状态，解决排气净化问题。改进燃烧状态是柴油机的基本问题，无论在哪个时期都是重要课题之一，特别是最近排气净化的要求日趋严格，便更加突出出来。

即如前所述，在柴油机的排气净化措施方面，日本已先于其它国家采取了严格的限制值。但是，近年来有人怀疑柴油排烟中

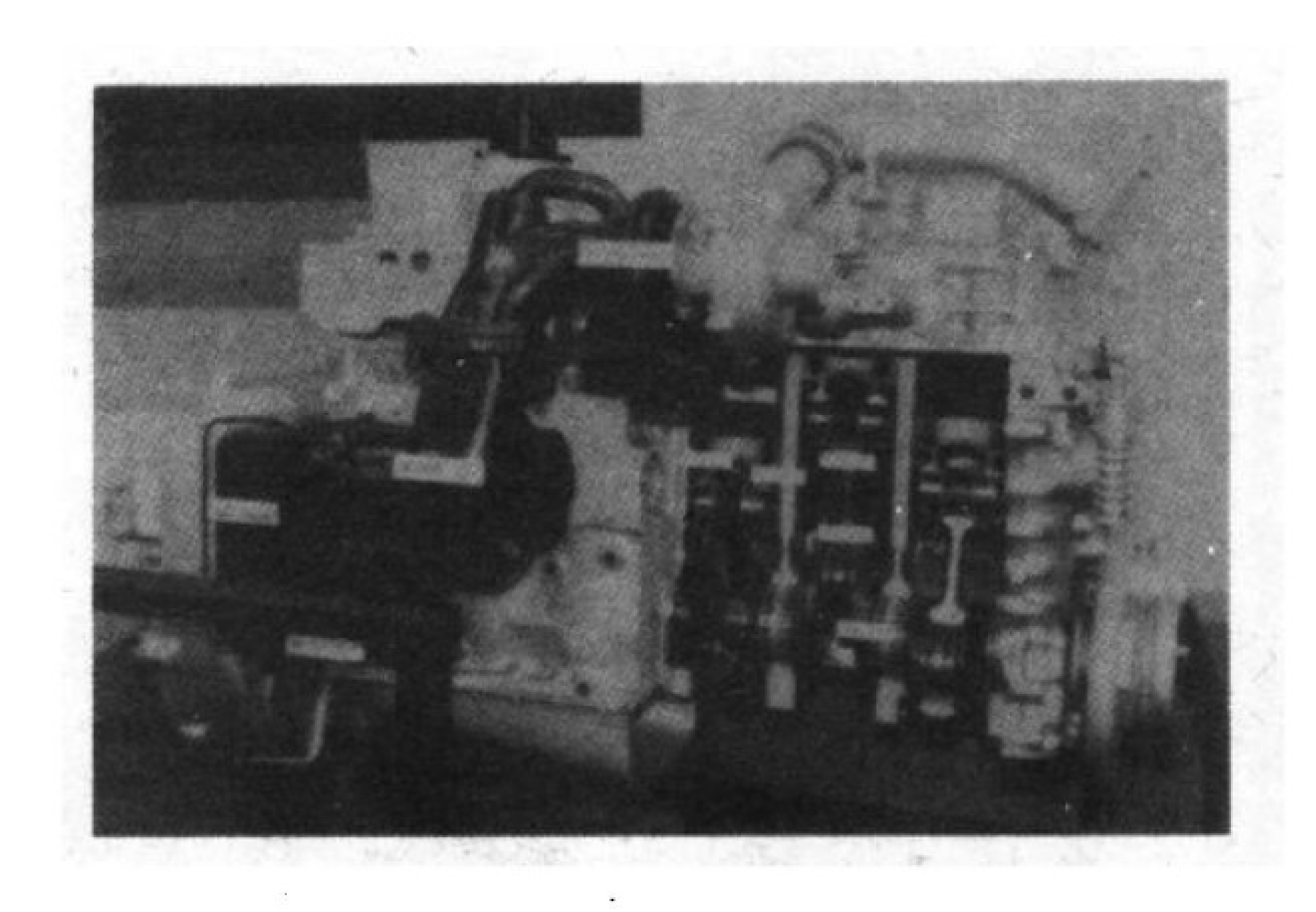
的微粒含有致癌物质，因此降低烟浓度的必要性骤然升格。美国从1988年起开始对大型柴油机的排放微粒加以限制。

然而，微粒和 NO_x 两者是相互矛盾的，一方减少，另一方面就会增加。日本把解决 NO_x 放在首位，但迟早微粒问题也得解决，目前正在全力以赴地研究改善燃烧状况，以便突破这对矛盾。作为绝热发动机研究使用陶瓷等绝热或耐热材料的一个重要背景，就是要设法改善燃烧状态。

照片11-1是在1985年东京汽车博览会上，对参展的日野绝热发动机热心提问的已故高松宫殿下。照片11-2为在1987年东京汽车博览会上展出的日野绝热复合式发动机。该发动机用涡轮把从增压器排出的气体同时再次回收，把回收能传递至曲轴。



照片11-1　对日野的绝热发动机提出尖锐问题的已故高松宫殿下（昭和天皇之弟）。殿下右侧为日野汽车工业会会长山本，背影为当时的深沢社长，左侧为笔者



照片11-2　1987年东京汽车博览会上展出的日野绝热、增压复合式发动机。燃烧室为半绝热，气缸周围无冷却，曲轴轴承为陶瓷制滚珠轴承

复合式发动机的再度崛起

然而，复合式发动机的最初设想，是在1905年由瑞士的一位工程师阿弗雷德·比西提出的。他设想把曲轴延长后连接的涡轮与空压机组合，同时提出现在的涡轮增压与复合式发动机（参考附录A11-1）。

复合式发动机正式投入使用的时间是在二战后的1952年。采用轻型增压的复合式R3350航空发动机，其功率达3400hp。仿佛这是最后为点缀活塞式航空发动机所作的精巧设计。它活跃了最后一批往复式航空发动机舞台，有力地支持了洛克希德·星座、道格拉斯DC7等型飞机。照片11-3示出从涡轮到曲轴的部分。从照片可以看出，为了把涡轮的高速旋转平稳地传递给曲轴，采用了液压联轴节与减速齿轮的组合结构。普遍认为复合式发动机必须采用液压联轴节，因此后来各国试制的复合式发动机也都效仿这种方式。



照片11-3　轻型R3350增压，复合式航空
发动机的从涡轮至曲轴的动力传递部分

日野是世界上第一个采用CVT(连续可变动力传导装置)的，它消除了液压损失，增加了效率。又使用陶瓷的滚动轴承作曲轴轴承，摩擦损失会进一步降低。滚动轴承的采用，除降低了轴承的摩擦损失之外，还可以节省对滑动轴承强制供油的泵动力。图11-1示出液压联轴节和CVT结构以及效率提高的情况。

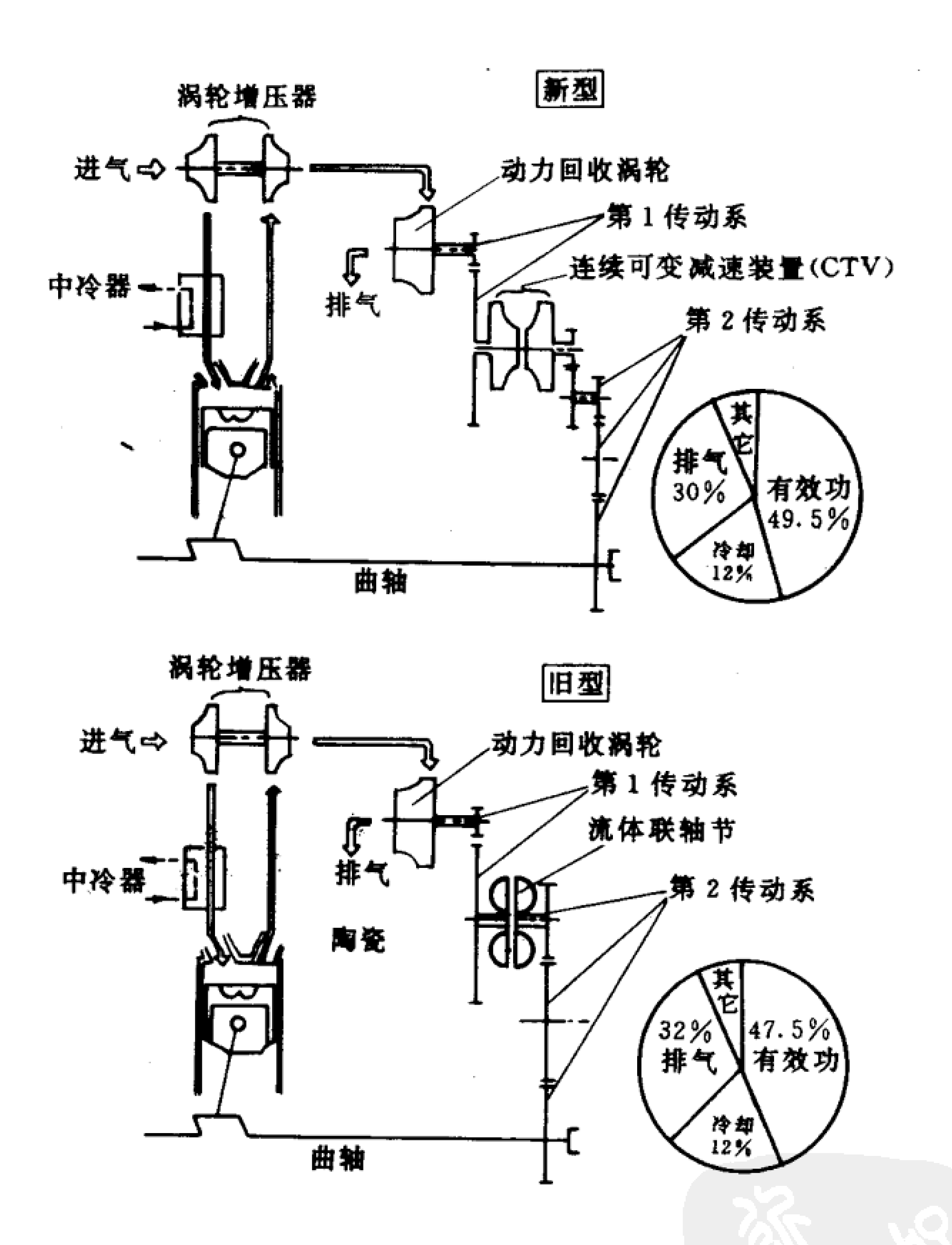
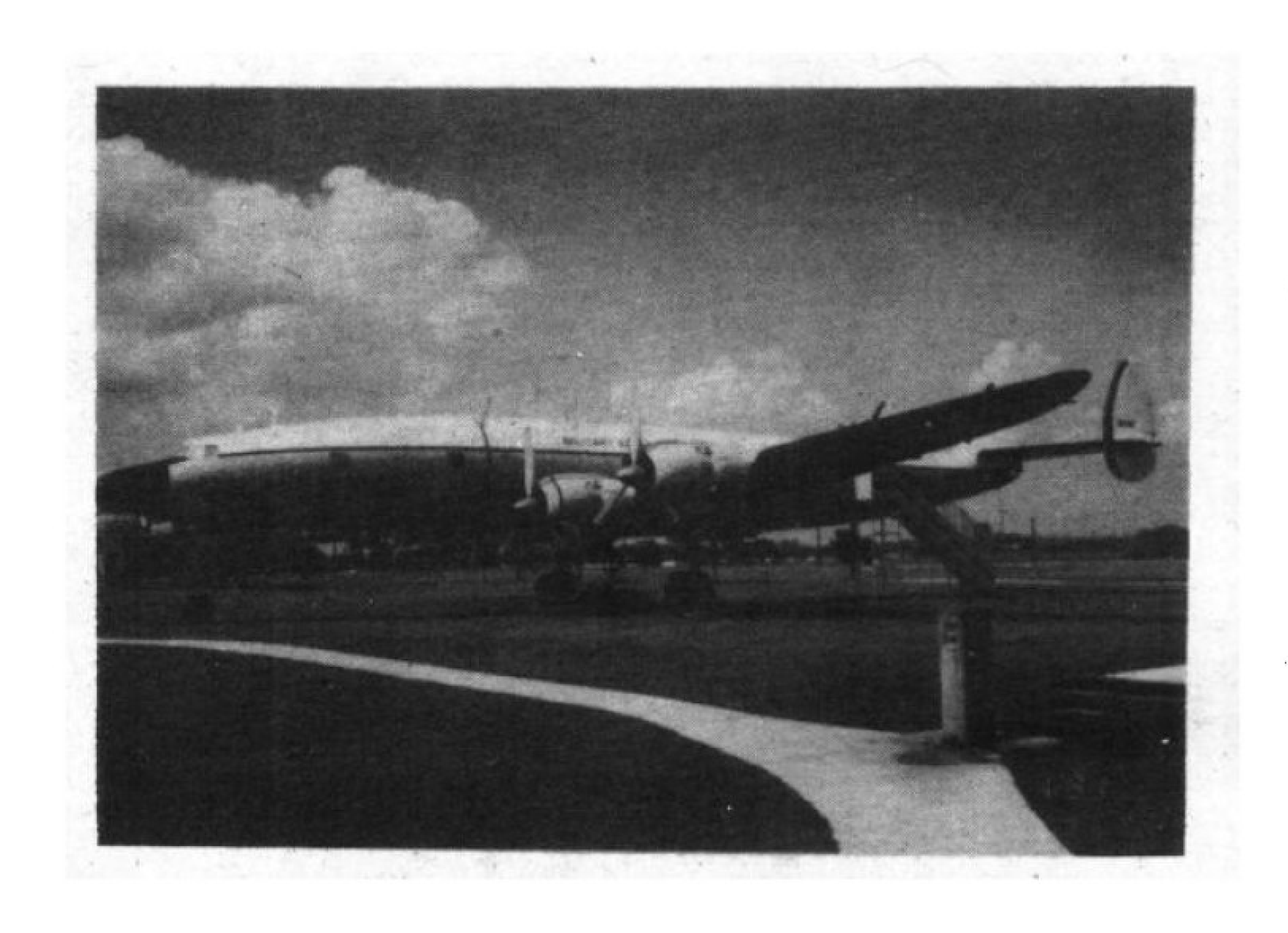
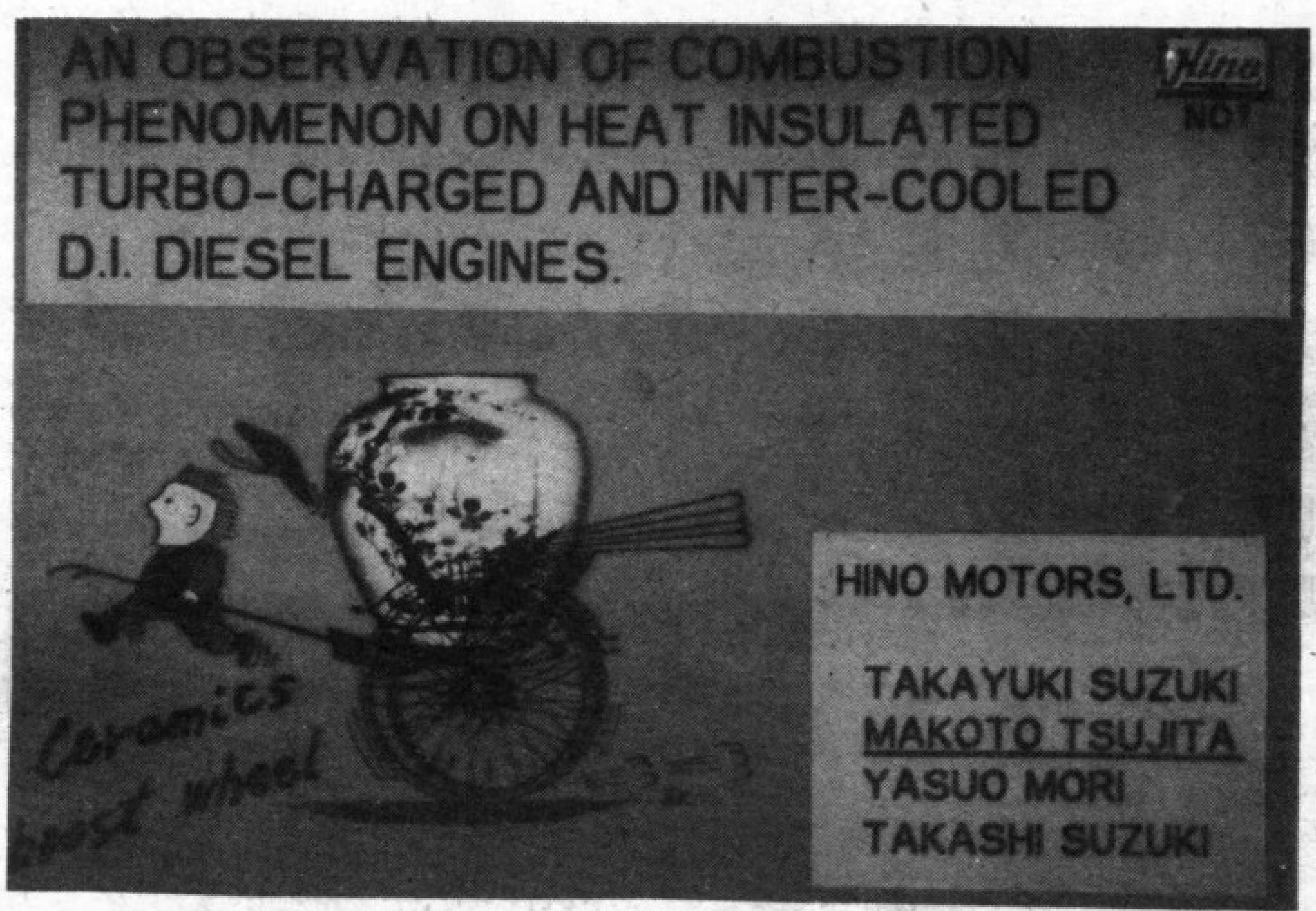


图11-1 日野绝热发动机的改进过程。由于采用连续可变减速装置（CVT），使发动机效率提高 2%



照片11-4　装有轻型增压复合式3350发动机的洛克希德飞机。二战末就航。不断改进，一直活跃到70年代。这期间，曾成为艾森豪威尔和麦克阿瑟的座机

日野在该发动机上进行的燃烧改进工作，于1986年美国工程师协会上首次发表，引起世界的关注（照片11-5）。举世关注的理由有两点：一是人们一度认为绝热发动机的绝热程度越增加，油耗越减少，但日野的实验结果正相反，油耗增加了；二是绝热发动机的燃烧状态变化。特别是燃烧状态变化这一点，过去从未引起注意，而这正意味着可通过燃油喷射条件及其它的配合，来实现低公害、低油耗的燃烧（附录A11-2）。



照片11-5　1986年美国工程师协会上发表的幻灯片。日野首次将绝热发动机的燃烧分析结果公布于众

附录 A11-1　复合式发动机的鼻祖

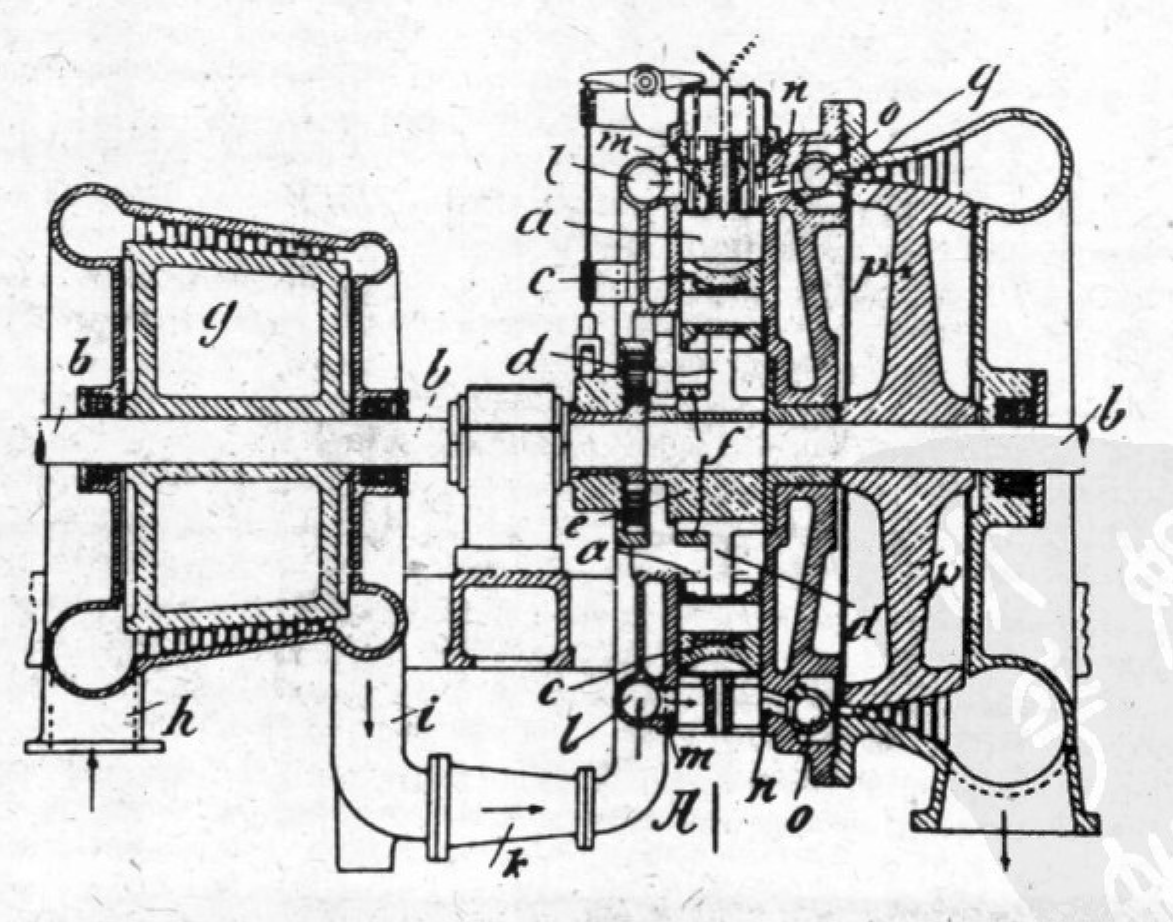


图 A11-1　比西的复合式发动机（1905年）

图 A11-1 为比西的发动机。图中左侧为轴流式空压机，中间大轴承的右侧为 4 行程柴油机，再向右，轴流式涡轮连接其上。按原来的这一设想，没有运转成功。不过它却是复合式发动机的鼻祖，也是涡轮增压的起点。

附录 A11-2　绝热发动机的燃烧

日野的绝热发动机是以 EP100 型发动机为基本型，燃烧室外周使用绝热材料，绝热率随着使用部位的变化而变化(图 A11-2)。所谓绝热率就是由下式定义的量：

$$绝热率\ A=\frac{Q_o-Q_i}{Q_o}\times 100\%$$

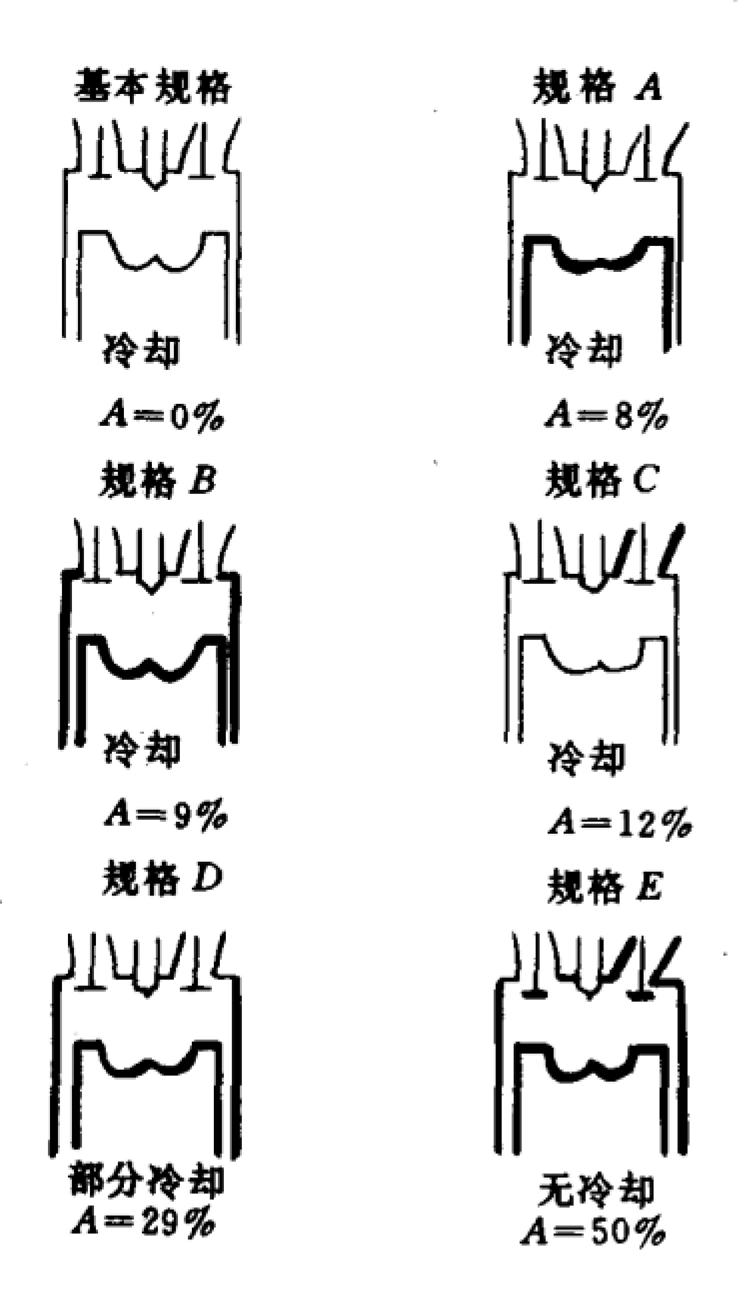


图 A11-2　使绝热材料变化，绝热率 A 也随之变化，——部分表示绝热

式中，Q_o——普通发动机的冷却损失；

Q_i——绝热发动机的冷却损失。

图 A11-3 示出当绝热率改变时油耗的变化情况。日野的实验结果表明，当绝热率为 20%左右时油耗非常理想，但设这时的 NO_x 为一定。图为绝热发动机改进油耗效果的研究结果之比较，表明过去一般未把燃烧变化考虑进去的计算是错误的。图 A11-4

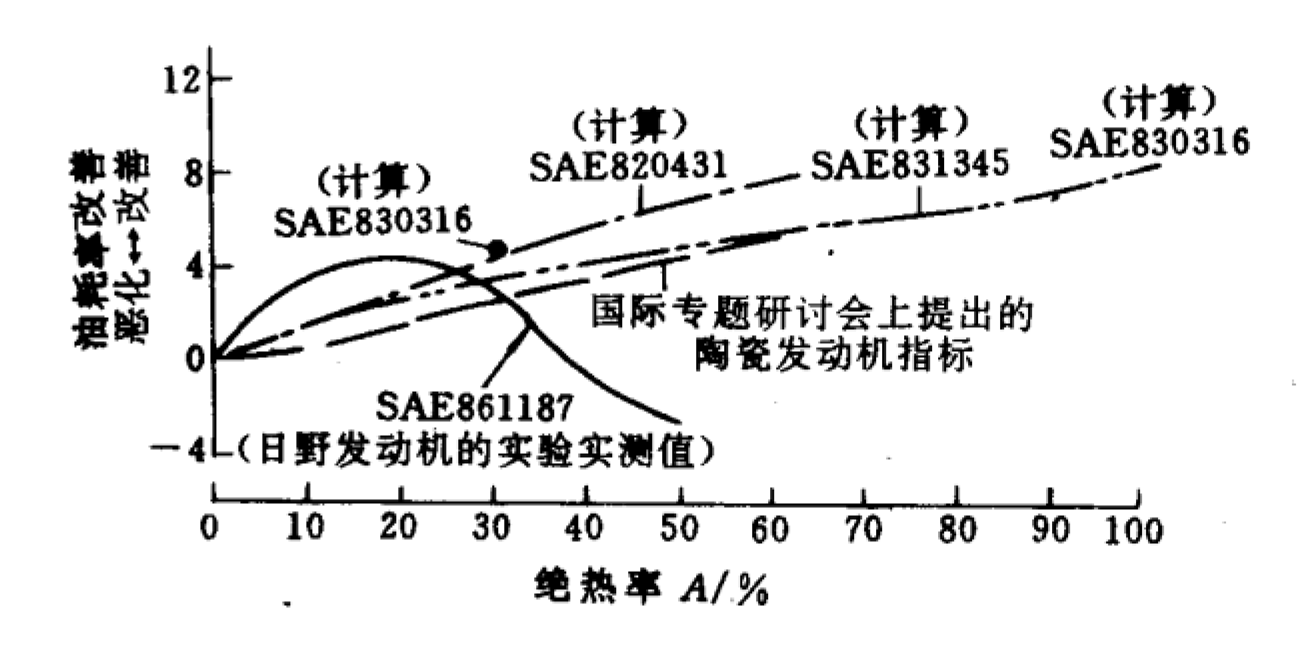
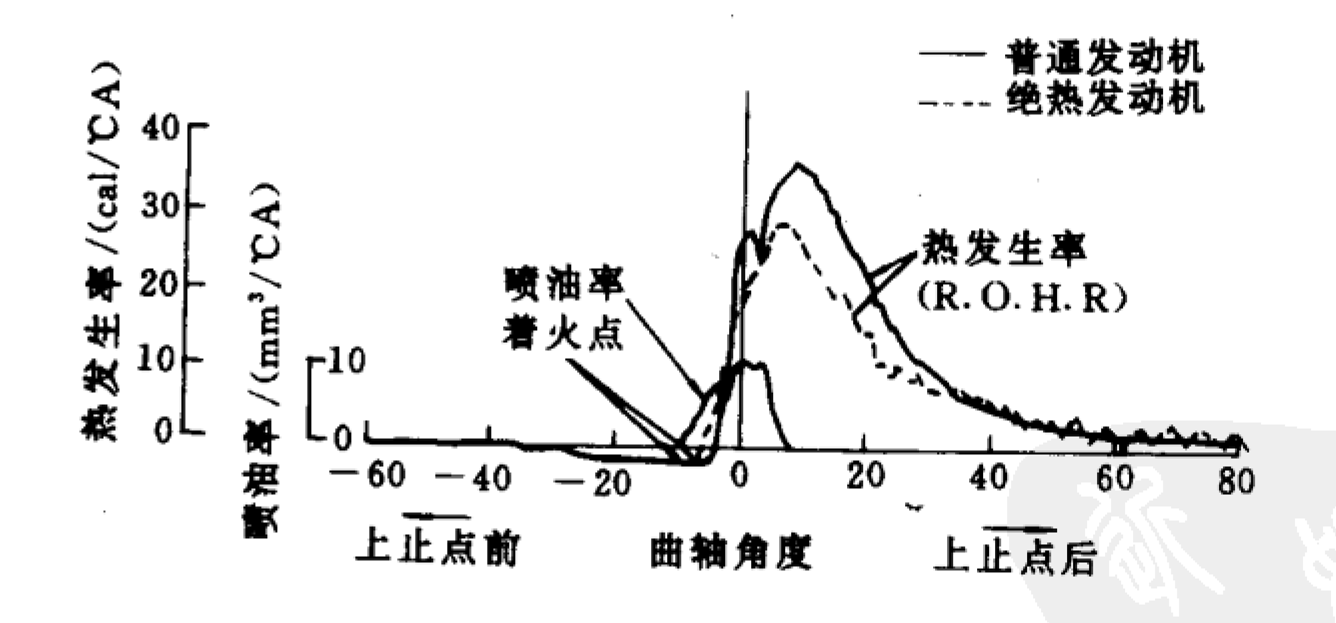


图 A11-3 绝热发动机油耗改善研究结果的比较



图A11-4 普通发动机与绝热发动机的燃烧状态分析比较（1600r/min、4/4 负荷）

是绝热率最大时的燃烧状态（此例为 50%）与通常的发动机（绝热率为 0%）的燃烧状态作了对比。图中所谓热发生率

(R.O.H.R)是表示每当曲轴转动一个角度,燃烧室内燃烧产生多少卡洛里热量的测量值。从这条曲线可以看出，绝热率大的发动机，燃油刚一被喷射就着火（R.O.H.R曲线向上的那一点，即着火几乎与燃油喷射同步)。为此,点火后热发生率的上升走势变弱，燃烧直至最后都很缓慢，结果油耗恶化。

从开始喷油起到点火为止的这段时间叫做着火延迟。着火延迟期给下一步开始的燃烧带来重大影响。以往的发动机，如果使 NO_x 值降低，着火延迟在时间上就得保持一定数值。然而，如果提高绝热率，这个时间就会大幅度地缩短。这意味着由于绝热材料的使用，可以进一步控制燃烧条件。反之，这是对解决排气净化问题的重要发现。也就是说，如果着火延迟期能缩短，再设法改善相应的供油方式，那么燃烧时间有可能大大缩短。

延迟喷油期，以便降低 NO_x 的排放。喷油期就是一般活塞到达气缸顶部之前开始喷油，叫做开始时期。延迟期就是指活塞接近气缸顶部（上止点）后开始喷油。喷油的瞬间不着火。如上所述，燃油的油粒与空气混合，并且因周围空气炽热，使油粒温度达到自行着火温度后着火。在这个时期，在上止点前喷油，以便保证活塞在刚过上止点一点点的地方压力最大。但是，这样一来，欲获得最大效率，燃烧温度高了，NO_x 的排放量也增加了。而为了减少 NO_x 的排放，必须把燃烧温度降下来，故就必须延迟着火期。但是延迟到一定程度，着火延迟期就为一定值了，因此很难缩短总的燃烧时间。

图 A11-5 示出普通发动机的喷油延迟期的着火延迟变化与提高绝热率时着火延迟变化的对比。从图中可以看出，普通发动机的着火延迟期为定值，但可以随着绝热率的变化逐渐缩小。即过去很难改变的着火延迟十分顺从地变化了。这意味着对燃烧状态的改善。

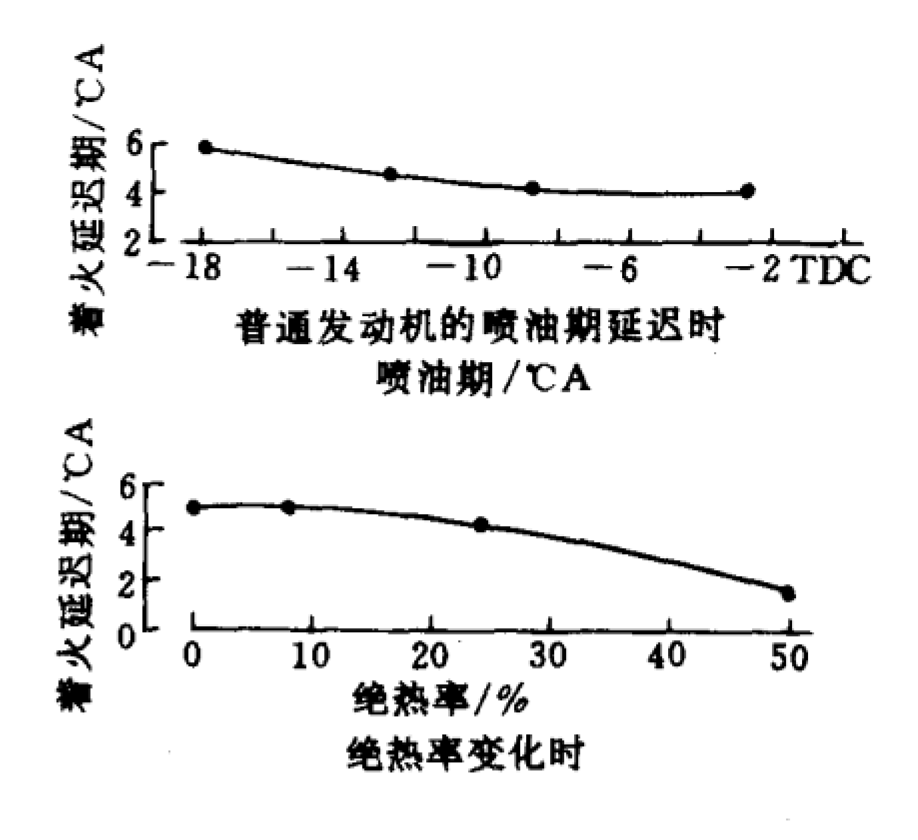


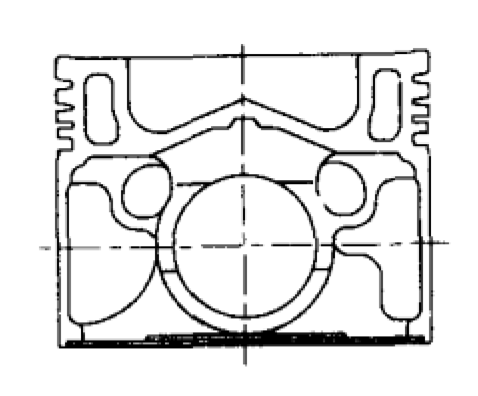
图 A11-5 着火延迟期的对比

附录 A11-3 绝热发动机的研究成果

绝热复合式发动机的研究，在改进发动机本身方面给予我们几个带有方向性的启示。即利用最佳绝热率和改善涡轮增压器可以更有效地收回排气能，这在过渡到结构复杂、价格昂贵的复合式发动机以前，就能实现的。

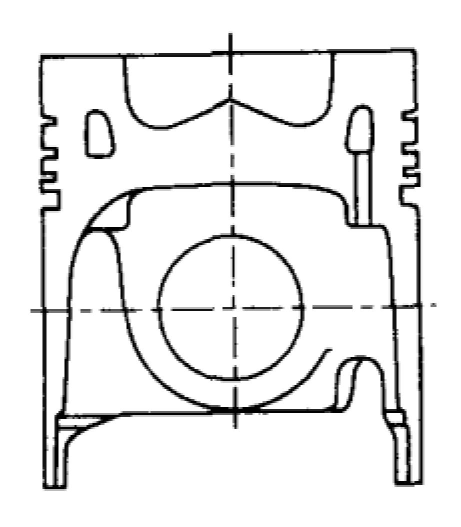
首先，只要把活塞材料从通常的铝合金改为铸铁，绝热率就发生变化，并且把涡轮增压器的涡轮流入口的方向作得圆滑些，该效率就能得到提高。此外，在改进进排气阀及其驱动系等之后，又完成了 EP100 发动机的改进型——P11C 型发动机，如图 9-1 所示，其热能损耗最低。

图 A11-6 示出使用铸铁件，其重量可与铝合金制件媲美的球墨铸铁制活塞的结构，图 A11-7 示出了涡轮入口形状为斜流式的新型涡轮增压器的结构。



铸铁活塞

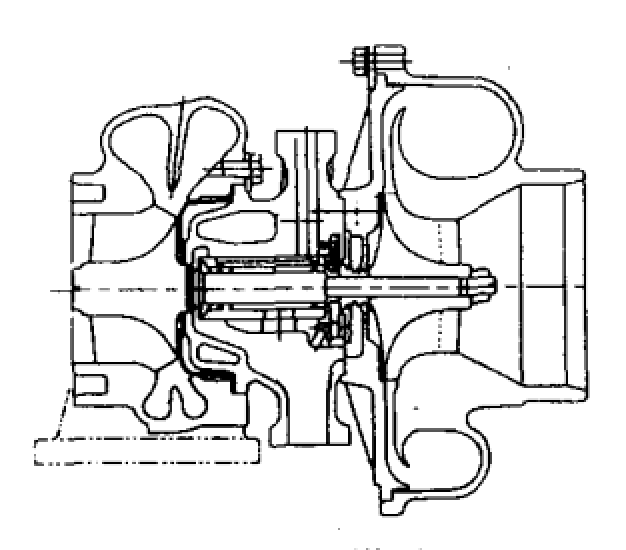
(球墨铸铁)



旧活塞

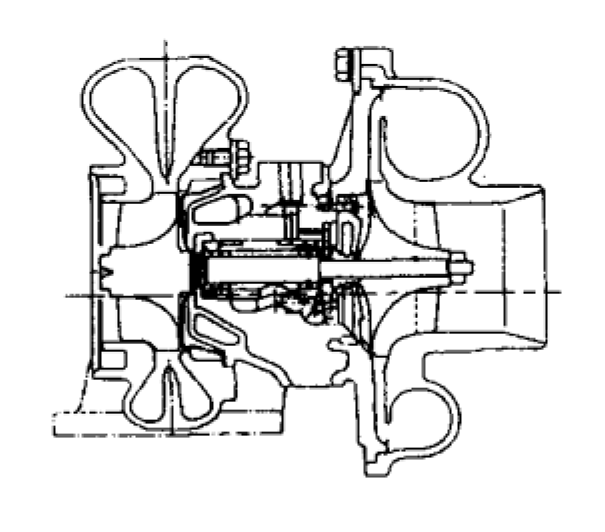
(铝合金)

图 A11-6　小型、薄壁的球墨铸铁制活塞其重量可与铝活塞相等



HSFT 增压器

(斜流式)



旧式增压器

(辐流式)

图A11-7　称作 HSFT (Hino Super Flow Turbine)，由于采用强制地使排气流倾斜流入的涡轮，提高了热能回收效率

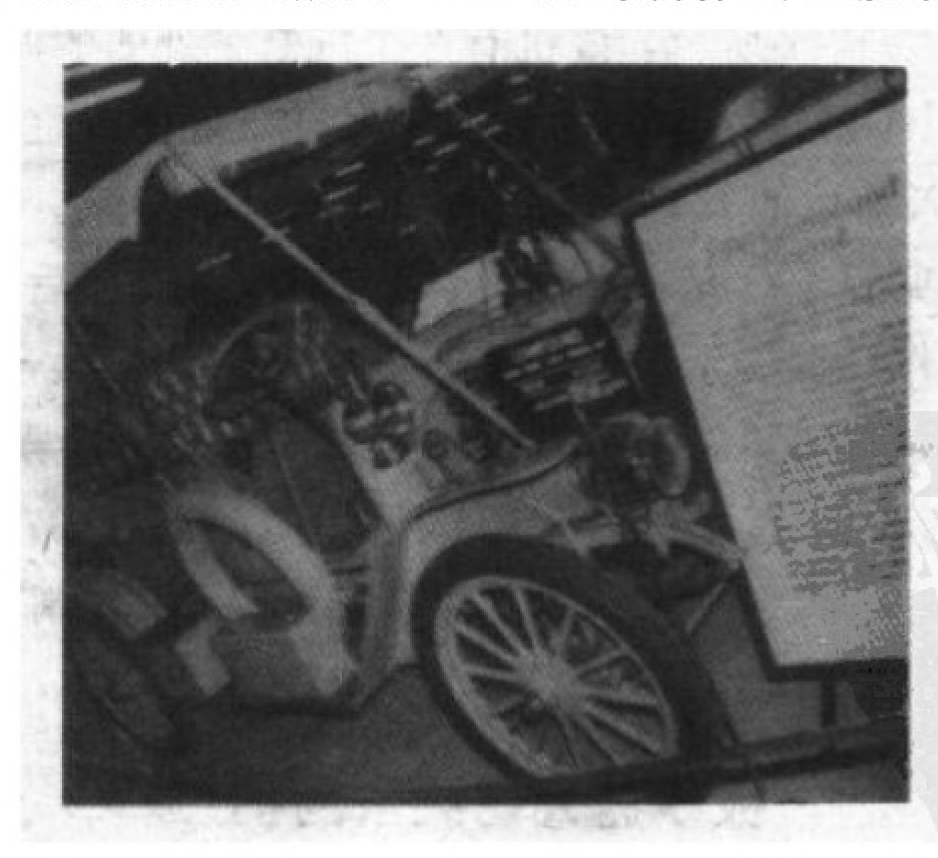
12. 奥托还是利用排气能的先驱

EHV 车还会失败吗？应回到根本上评价先例。散落却永生的技术发展史。

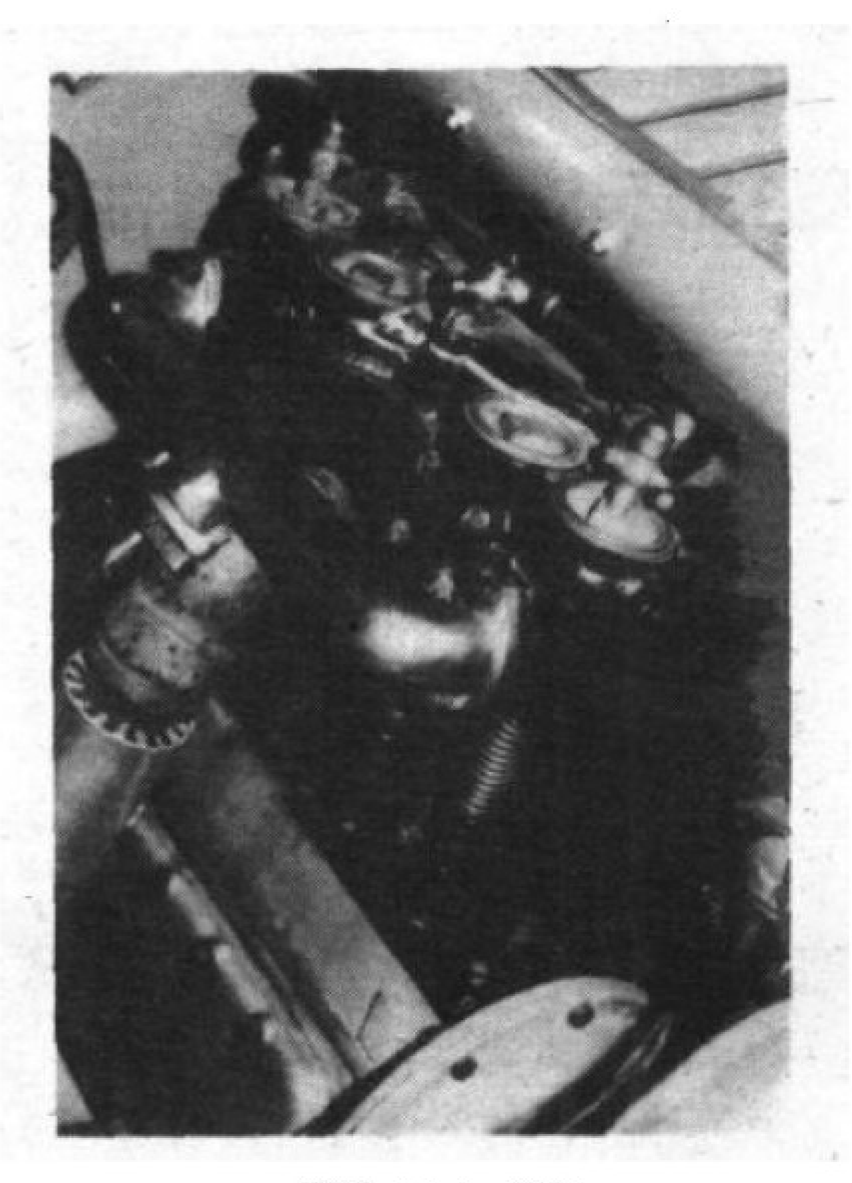
具有历史意义的 EHV 发动机

在以飞机竞技和赌博著称的美国内华达州里诺，有一座由亿万富翁哈拉（William Harrah）建造的世界第一的汽车博物馆。遗憾的是，这座博物馆如后所述，现在已不复存在了。本来，在大约 1500 种硕大的陈列汽车中，孤零零地停放着一辆装有二级膨胀式发动机的汽车。二级膨胀式发动机如前所述，即是将在压力和温度都相当高的状态下排出的气体再送入别的气缸，使之膨胀，彻底地、有效地利用热能的发动机。

1906 年美国康涅狄格州 EHV 公司制作出 2 级膨胀式汽油发



照片 12-1（上）



照片 12-1（下）

照片 12-1 1906 年 EHV 公司发表了两级膨胀式汽油发动机（哈拉博物馆）

动机。如照片 12-1 所示，该机有 3 个气缸。外侧的两个气缸为工作气缸（高压气缸），中间的是膨胀气缸（低压气缸）。如照片所示，进气进入前后的气缸，排气从中间的气缸出来。也就是说，高压气缸是常见的 4 行程，低压气缸因不断地接受前后气缸的排气，为 2 行程工作。据展示说明介绍，该机油耗低、噪音大、无汽油味。后两点姑且不论，但油耗低一说却有点让人生疑。因为该发动机的设计，实际上是在早于 EHV 公司 27 年的 1879 年，在奥托完成最初的 4 行程发动机的 3 年之后，由奥托本人制作销售的，并因发动机工作不好，而遭到用户的退货。

被砂糖公司买去的构想

该发动机的计划是由戴姆勒（Gottlieb Daimler）制订的。他

是根据 H·京德内尔（H·Güldner）的计算完成这一独特设计的。道依茨·哥斯毛特顿公司（现在的 KHD 公司）把它制作出来，称作“奥托 4 行程复合发动机”加以宣传（参考附录 A12）。

闻讯赶来的是地处盛产摩泽尔白葡萄酒而出名的德国莱茵兰德州的普泛法·温特·兰根砂糖公司。这家公司立即买下了这台发动机。但是，由于故障频发和油耗高，最后又退货了。

据扎斯（F. Sass）教授分析说，从高压缸过渡到低压缸时的排气温度为 1000℃（通常汽油机约为 800℃），因而需要对这部分排气进行强制冷却，为此特地回收的排气热能，在这里失去很大一部分，而剩下的热能几乎全部用在驱动低压气缸上了。这位教授还无限感慨地说，这台具有历史意义的发动机一直保存到 1925 年，却因博物馆的展览面积不足而被扔掉了（连重视技术成果的德国都尚且如此，更何况日本乎）。

那么，EHV 公司是怎样解释这件事的呢？在戴姆勒的设计中，进排气阀为滑阀（靠钢板滑动开关气孔）。不难想象，高温的排气会使滑阀烧蚀，因此 EHV 公司把它改成常见的提动阀（蘑菇形阀）。但是，它有别于奥托的固定式发动机，汽车用发动机需要在高转速下使用，并且如果考虑它不是在全负荷状态下，而多半是在部分负荷状态下使用的话，它的优越性就更少了。

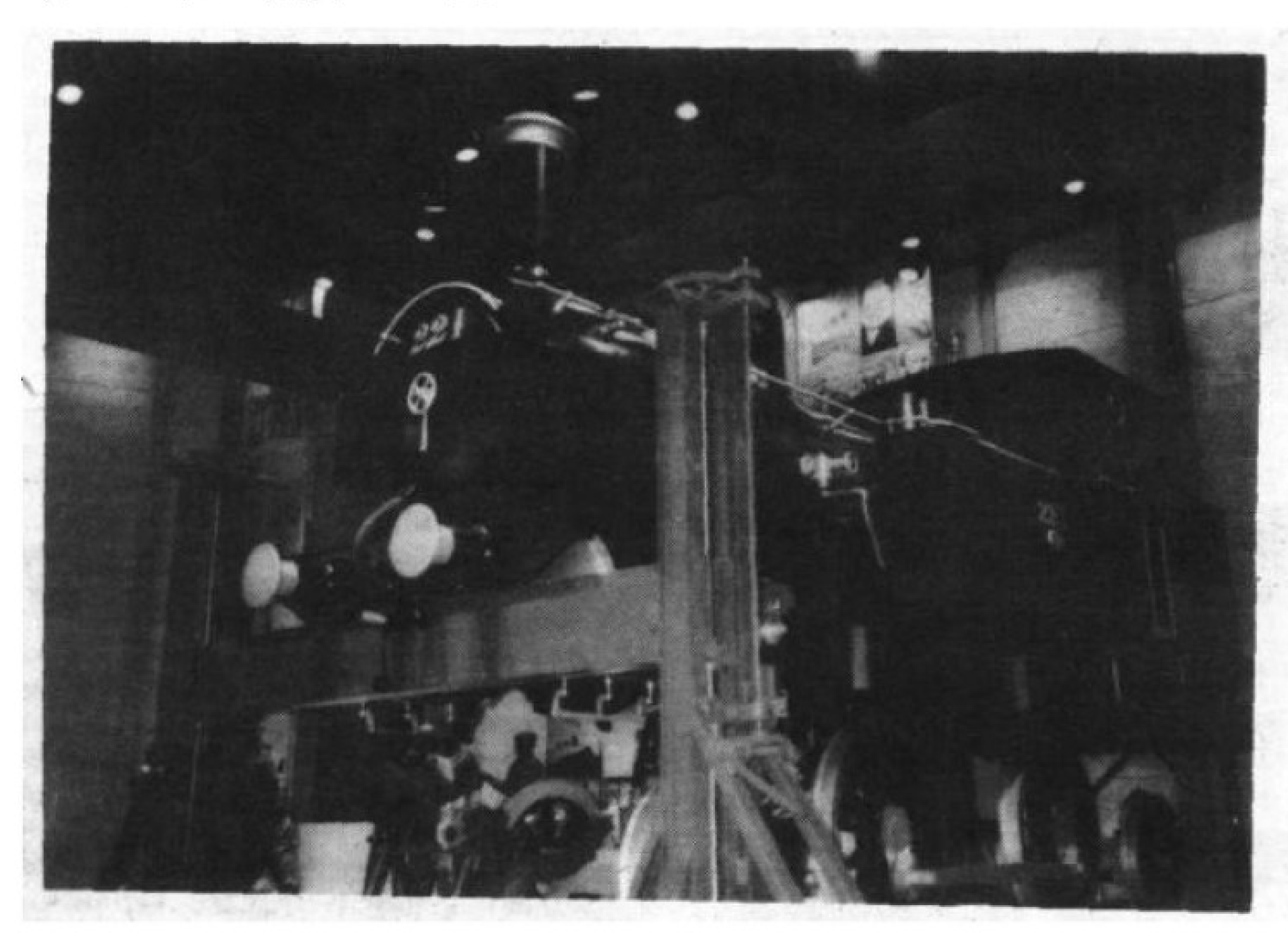
如果某一缺点很突出，哪怕它是次要的缺点，也往往使人忽略了隐藏其后的某一本质的缺点。EHV 汽车的教训告戒我们：在进行某项改革时，不要怕麻烦，应按评价项目一一进行评审。

二级膨胀的设想

然而，二级膨胀的设想，实际上是在瓦特的蒸汽机问世的第五个年头，即 1781 年，由英国人霍尔·布卢瓦（Jonathan Hornblower）和沃尔夫（Arthur Woolf）提出来的。但是，令人啼笑皆非的是，瓦特起诉说霍尔的设想与他的专利相抵触。据说结果因霍尔方面的二级膨胀理论未能使法庭理解而败诉。这件事使我们

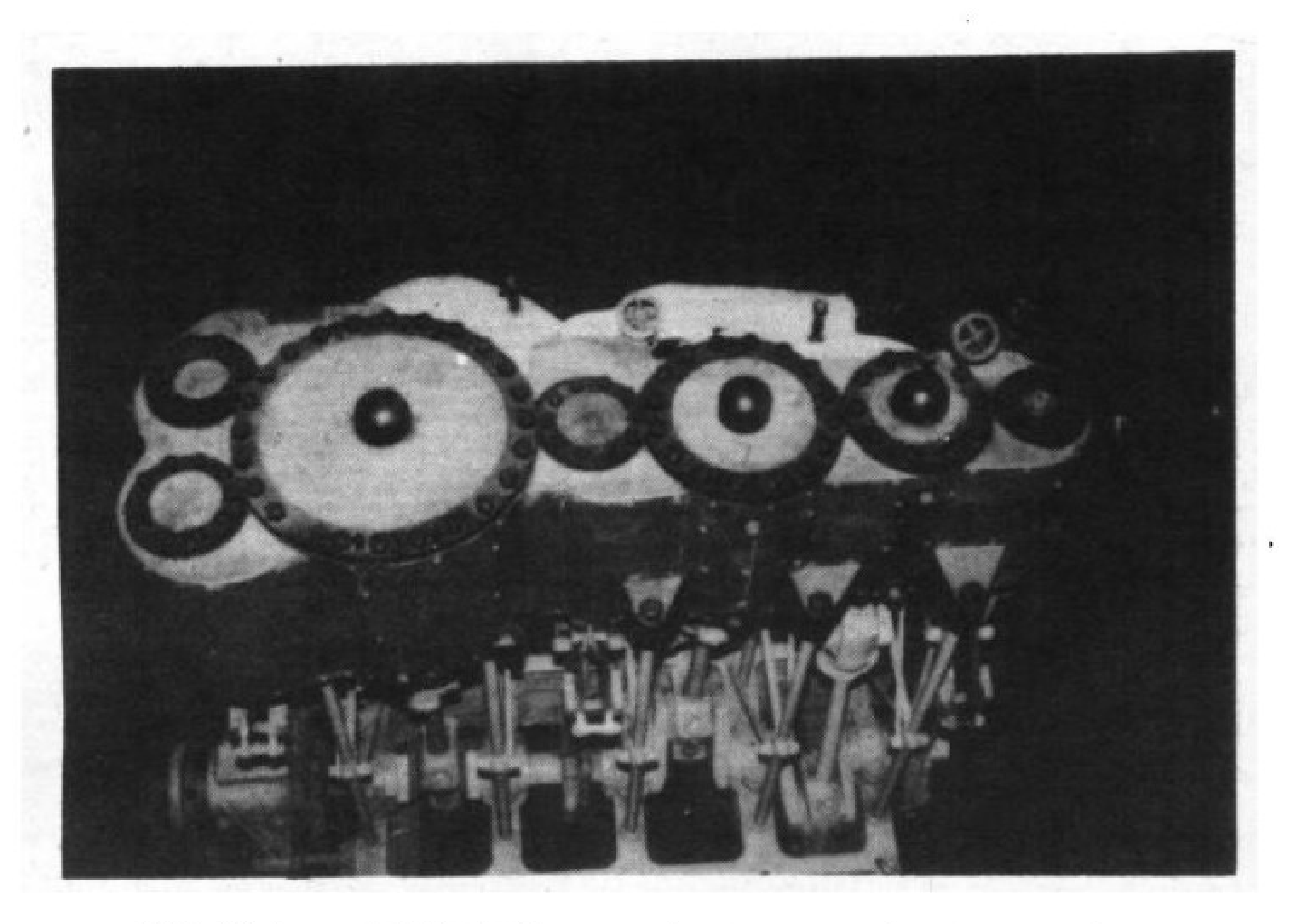
再次认识到，一个新的设想在客观上很难让人理解，而被人理解却是非常重要的。1845 年马克诺特（William Mcnaught）彻底地改进了霍尔发动机的不足，完成了二级膨胀式发动机的研制。

顺便提及一下，日本最初的国产蒸汽机车（SL）就是这种二级膨胀式的，是在 SL 发明人特里威思克（Richard Trevithick）的孙子——F·H 特里威思克和 R·F·特里威思克兄弟的指导下，于明治 26 年（1893 年）完成的，经济性能比原来的一次膨胀式提高了 20%（照片 12-2）。



照片 12-2　特里威思克的世界最初的蒸汽机车用发动机 7.5hp·50 $r\cdot min^{-1}$（1804 年），发明人的孙子，后来成为日本的蒸汽机车之父

有了二级，又想三级，此乃人之常情。三级膨胀式发动机也作为蒸汽机得到应用。1883 年，好象是德国的 Schichau 公司最先采用的。其实物保存在马萨诸塞工业大学，是 1909 年制造的特罗依发动机。有记载说，其变型机广泛用于船舶上（照片 12-3）。



照片12-3　三级膨胀发动机 140hp/350r・min⁻¹，行程 254mm，气缸从缸径第一级算起依次为 152.4、241.3、381mm

哈拉博物馆的消亡

最后我想提及一下哈拉博物馆的消亡。“世界上第一个汽车博物馆已朝不保夕，可能要不行了”的消息，我是在 1978 年的一个夜晚，在京都饭店的酒吧，听邻座的美国人讲的。竟有这种事？我半信半疑。但是这令人震惊的消息是真的。号称赌王的哈拉氏，在 1978 年 6 月 30 日，在切除定期检查时发现的病根的手术中突然死去。也有人说他因为太忙，手术作得太晚了。一夜间，他的公司天翻地覆。为了解决巨额的继承税，博物馆被卖给了霍利迪公司。霍利迪公司经过 3 次大拍卖，几乎把珍贵的汽车博物馆变卖殆尽，所剩无几的馆藏也都四处散落了。可叹哈拉耗费的 30 年的心血和庞大的资金：把所有的汽车都按出厂时的样子进行复原，并按制造厂家的历代顺序把这些车加以整理，通过陈列的实物，有机地展示和说明了技术的兴衰成败（照片 12-4）。这一切均不复存

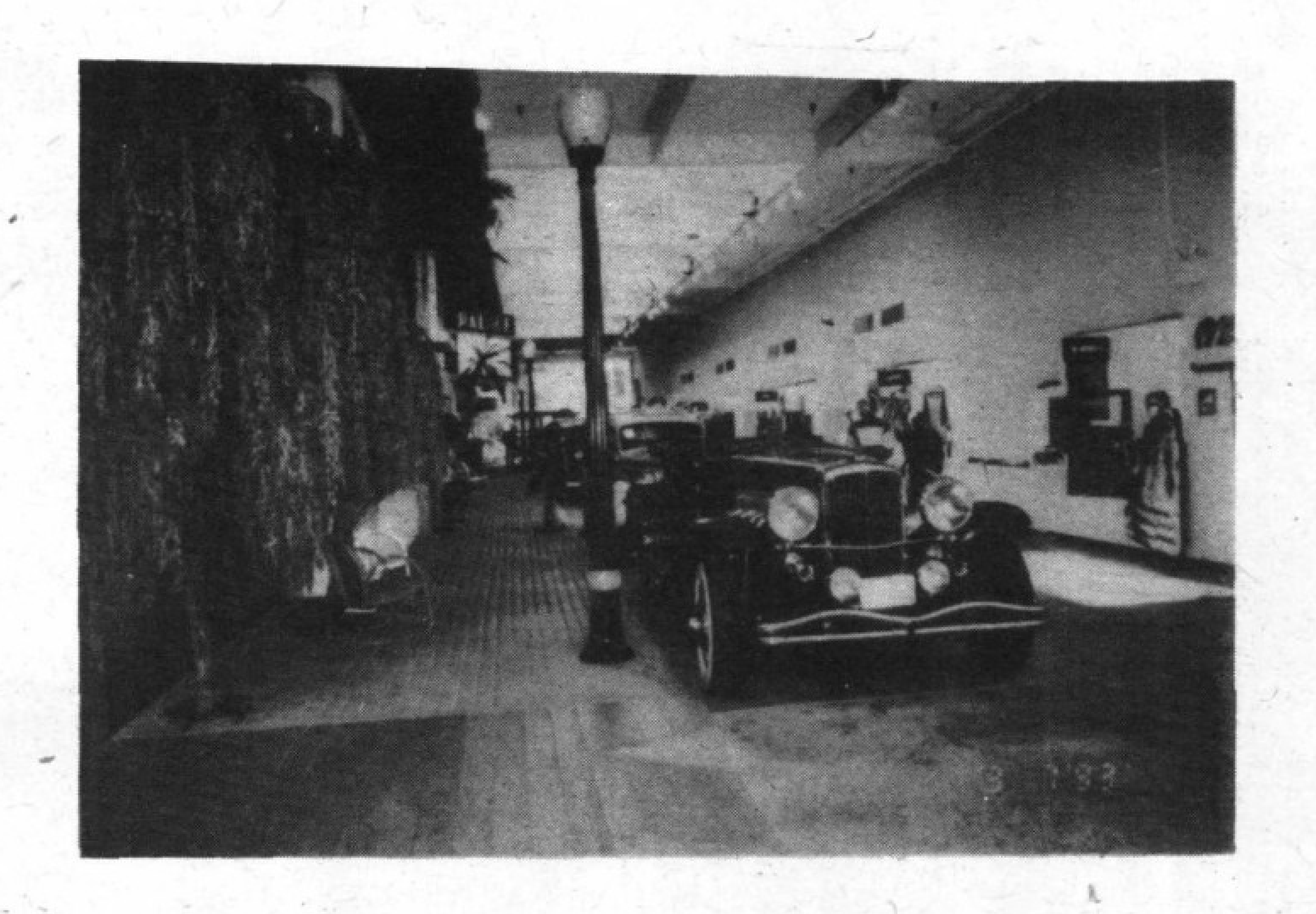


照片12-4　哈拉博物馆耗费30年时间，投入莫大的资本，精心整理的前人遗产，经过3次拍卖而散落。该怪罪继承税？

在。不知EHV车落到了谁人之手？

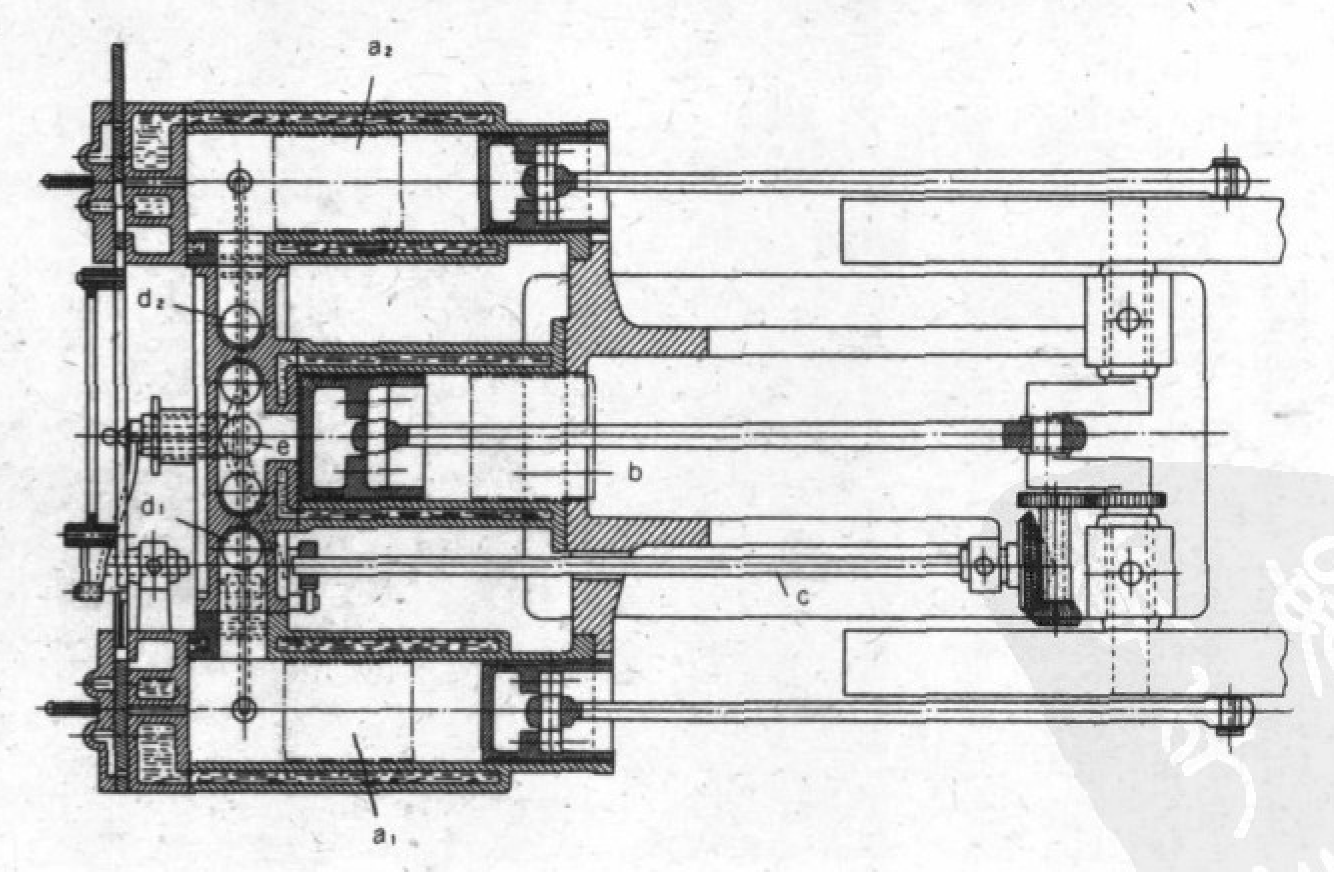
然而，值得庆幸的是，该博物馆劫后余生，以当时的内华达州州长罗伯特·里斯特等人为中心，成立了威廉·哈拉财团，进行重建工作。

霍利迪公司把卖剩下的175辆车和珍贵的资料赠送给该财团，并在里诺市的大力资助下，建成了一座占地9450m²的博物馆，1989年11月5日正式对外开放。但是展示的汽车辆数却由往昔的1400辆减少到二百几十辆。不过，它倒是把20世纪分成四个阶段，再现了昔日的街道，使参观的人身临其境（照片12-5）。



照片12-5　博物馆中30年代的街道。1935年的杜森伯尔V－8、504HP的轿车傲气凌人地停放着（国家汽车博物馆）

附录A12　奥托的二级膨胀发动机



图A12-1　奥托的二级膨胀式发动机（1879年）。a_1、a_2：高压缸；b：低压缸；c：滑阀用驱动轴；d_1、d_2：高压缸排气口；e低压缸排气阀（saas）

图 A12-1 示出奥托的二级膨胀式发动机的截面图。图中 a_1、a_2 为高压气缸，b 为低压气缸，d_1、d_2 为高压气缸的排气阀，e 为低压气缸的排气阀。

采用这一结构，以便利用图 A10-1 中的 44″1 面积。滑阀有直接的致命伤，而且孕藏着最基本的缺点。

13. 冷却问题（1）

使公司倒闭的冷却设计。名门望族卡契斯公司的荣光与衰败。

卡契斯的革新

在太平洋战争爆发的前一个月，即1941年的“航空朝日”11月号，刊登了一幅美制双翼水上飞机及站立在机前的一位英俊男子的照片。第二年，这位男子驾驶重型轰炸机从航空母舰上起飞，突然对东京进行了历史上第一次空袭。

这个人就是J·H·都里特雷。他驾驶的飞机为卡契斯R3C—2型，装有卡契斯制600hp的发动机。在1925年有名的施奈德杯大赛上由于他的驾驶曾夺冠。这架飞机现在陈列在美国的斯密索尼安博物馆。令人惊异的是，该机超越当时采用布作主翼的常规，而采用了黄铜。上下两片主翼由散热器本身来充当。对机翼表面进行了精加工，以消除散热器的有害阻力。这一看似微不足道的努力，却使都里特雷驾驶这架飞机大获全胜，而让英国和意大利的期望落空(图13-1)。

格林·卡契斯（Glenn H·Curtiss）是制造该机的积极促进者。他是第10代自行车铺老板，23岁开始制造摩托车。1909年在世界最初的飞行大会上，他亲自驾机夺魁。后来创立了卡契斯飞机和发动机制造公司，是美国的本田宗一郎。1909年美国海军从莱特兄弟那里买来了39hp的发动机，这已在前面介绍过了（照片8-1）。一年后即1910年卡契斯制造的如照片13-1所示的发动机，其崭新的设计令人惊叹。简直让人不敢相信前后相隔仅1年时间就有了如此惊人的进步。

后来卡契斯公司红红火火地经历了一战，好景一直延续到二

战初，在1930年格林·卡契斯去世不久，卡契斯公司便交厄运了。

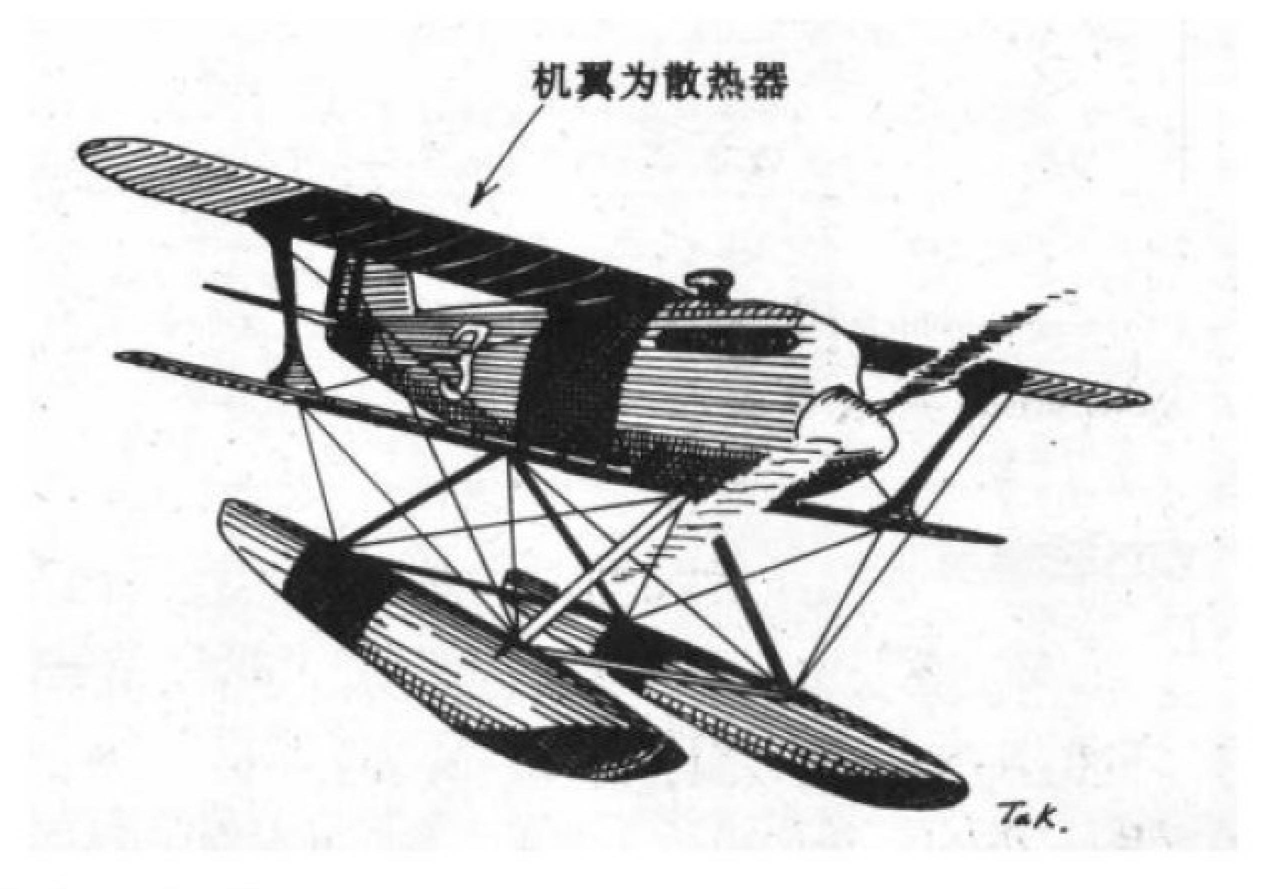
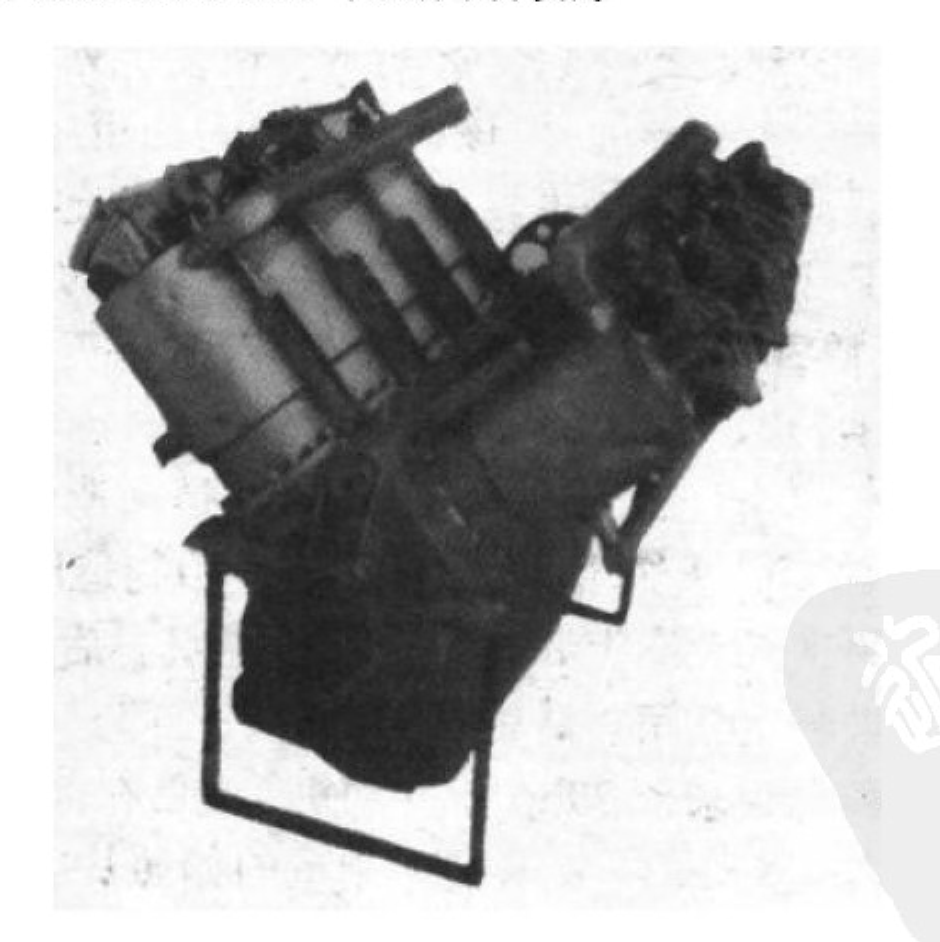


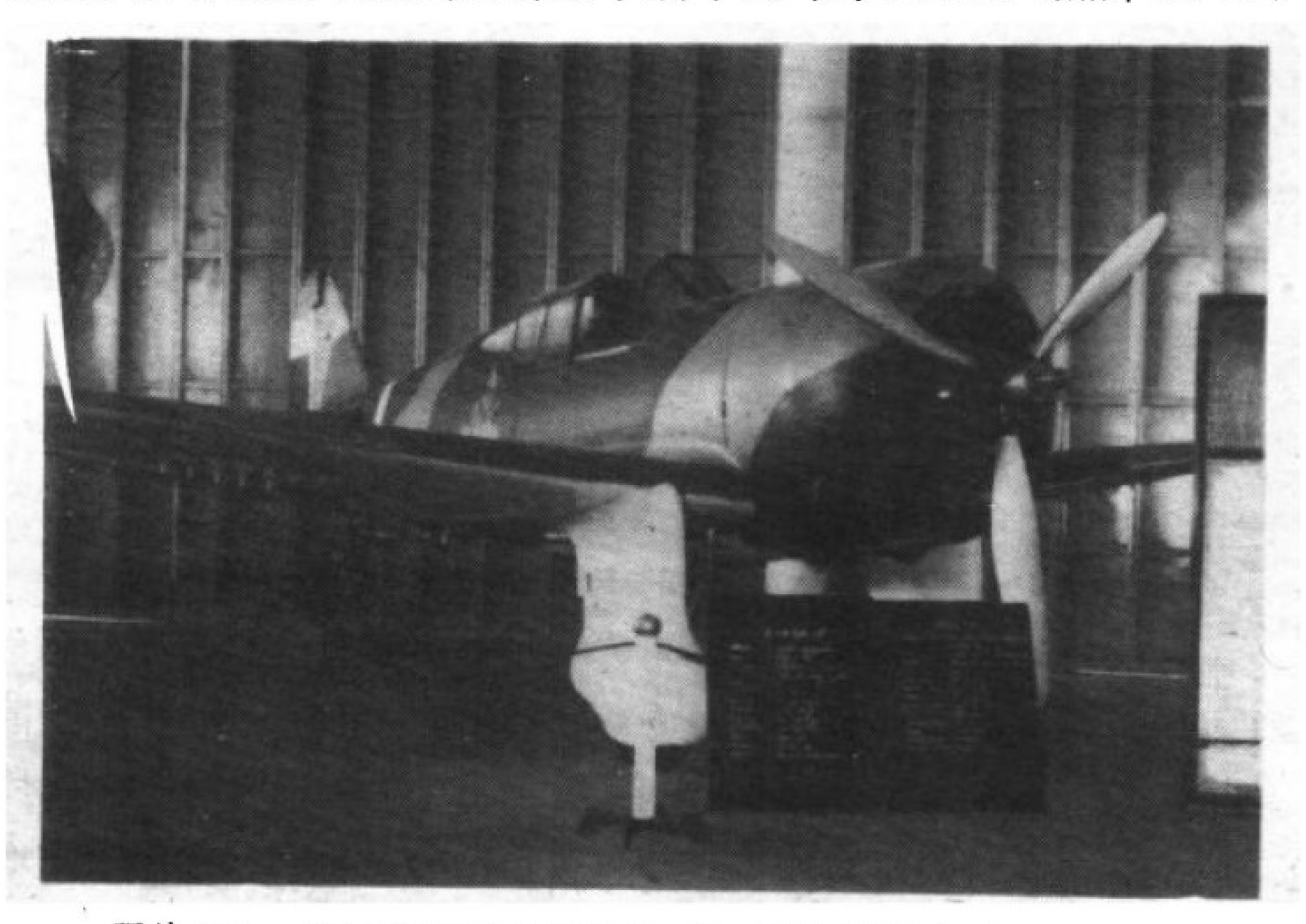
图13-1　都里特雷·卡契斯R3C－2（1925年）。都里特雷周密细致地计算出最适于竞技的螺旋浆的节距（在汽车上为变速箱速比）。并且，他驾驶以散热器作机翼的这架飞机在竞赛中夺魁。散热器的机翼是由卡契斯公司自1920年起着手开发的



照片13-1　1910年卡契斯发动机（缸径144mm、行程101.6mm、V8、80hp）比照片8-1示出的1909年的莱特发动机有很大进步

名门望族的破落

太平洋战争爆发的那一年（1941 年），美国陆军第一线战斗机是卡契斯 P40 型。该机的基本设计可追溯到 1935 年。世界上首次采用尾轮钳入式的 P36 型飞机，于 1938 年正式交付美国陆军使用。并且，当时英国、法国、加拿大、挪威、芬兰、泰国和中国等几乎所有的盟军成员国的空军战斗机均为 P36 型（照片 13-2）。



照片13-2　向泰国出口的卡契斯 P36 型。该机将伸缩架改为固定架。卡契斯当时显然是采取了多样化措施（泰国皇家博物馆）

截止那个时期为卡契斯的全盛时期。P40 型是把 P36 型发动机的空冷改为水冷。但随之功率明显不足成为突出问题。当时的设计班子盲目地改用大功率发动机，然而这一改动设计却成了致命缺陷。

图 13-2 便是那次的设计，巨大的散热器无精打采地悬在发动机下面。同期的 P51 型战斗机的设计也示于图 13-2。两种飞机都装用同一罗尔斯・罗依斯・玛琳发动机，但最高速度迥异。图示其优劣一目了然。停战前夕，在日本领空进行狂轰烂炸的就是大

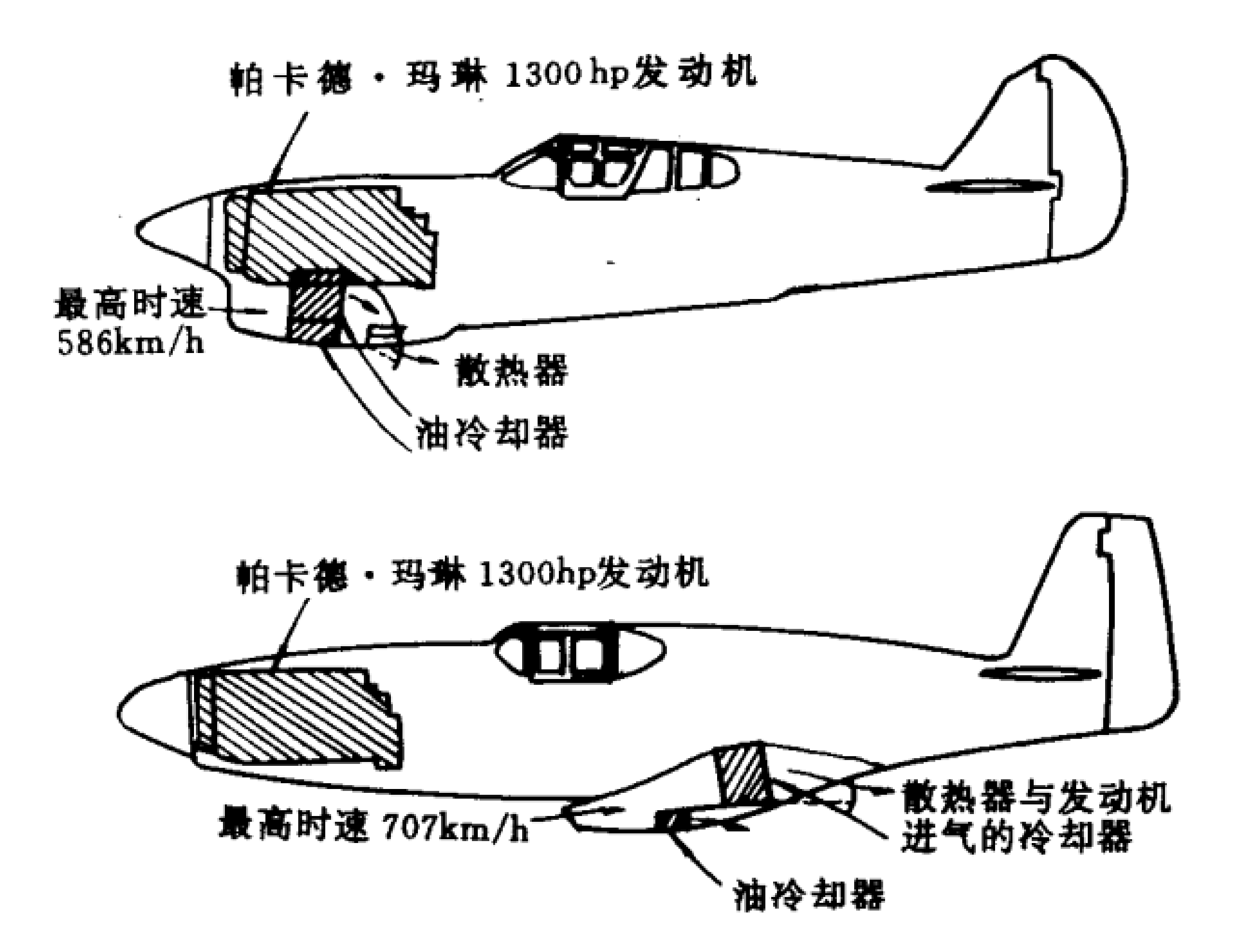


图13-2　(上) P40 (F)，最高速度 586km/h；(下) P51 (B) 最高速度 707km/h。即使发动机是优秀的，冷却系的设计将决定产品的好坏。劣作出自简单思考，佳作则得益于敏锐的思考

鼻子美国佬 P51 型飞机。在当时卡契斯 P40 型已经停产。

两者在性能上的总体现，不仅在于散热器设计的差异，而且还在于对每一个构件设计上精心程度的差异。另一方面，P51 型散热器的空气流动方式，不是从制图板上得到的，而是经过多次反复的实验与执著的追求才得到的。卡契斯公司后来又接连不断地进行了多次改进试制。

图 13-3 为卡契斯飞机的一例。飞机的造型终于变得流畅了，

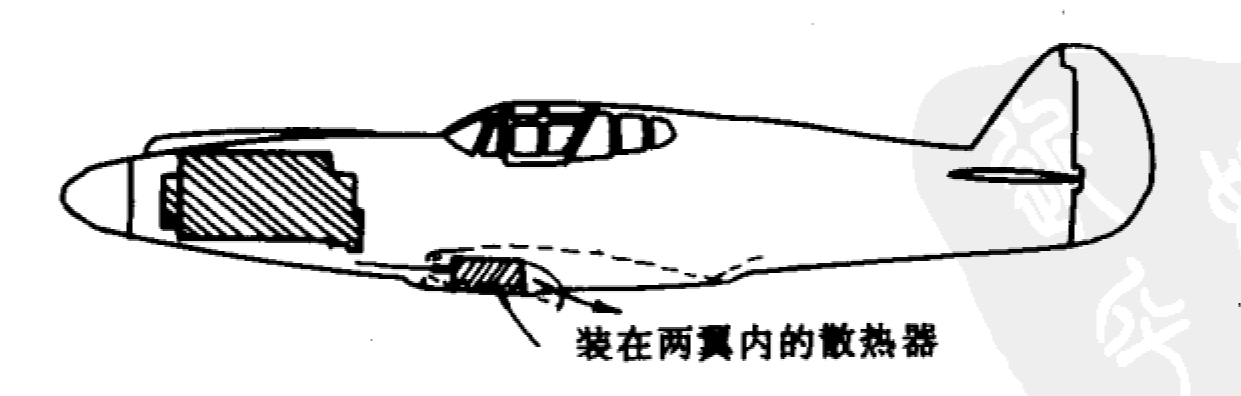


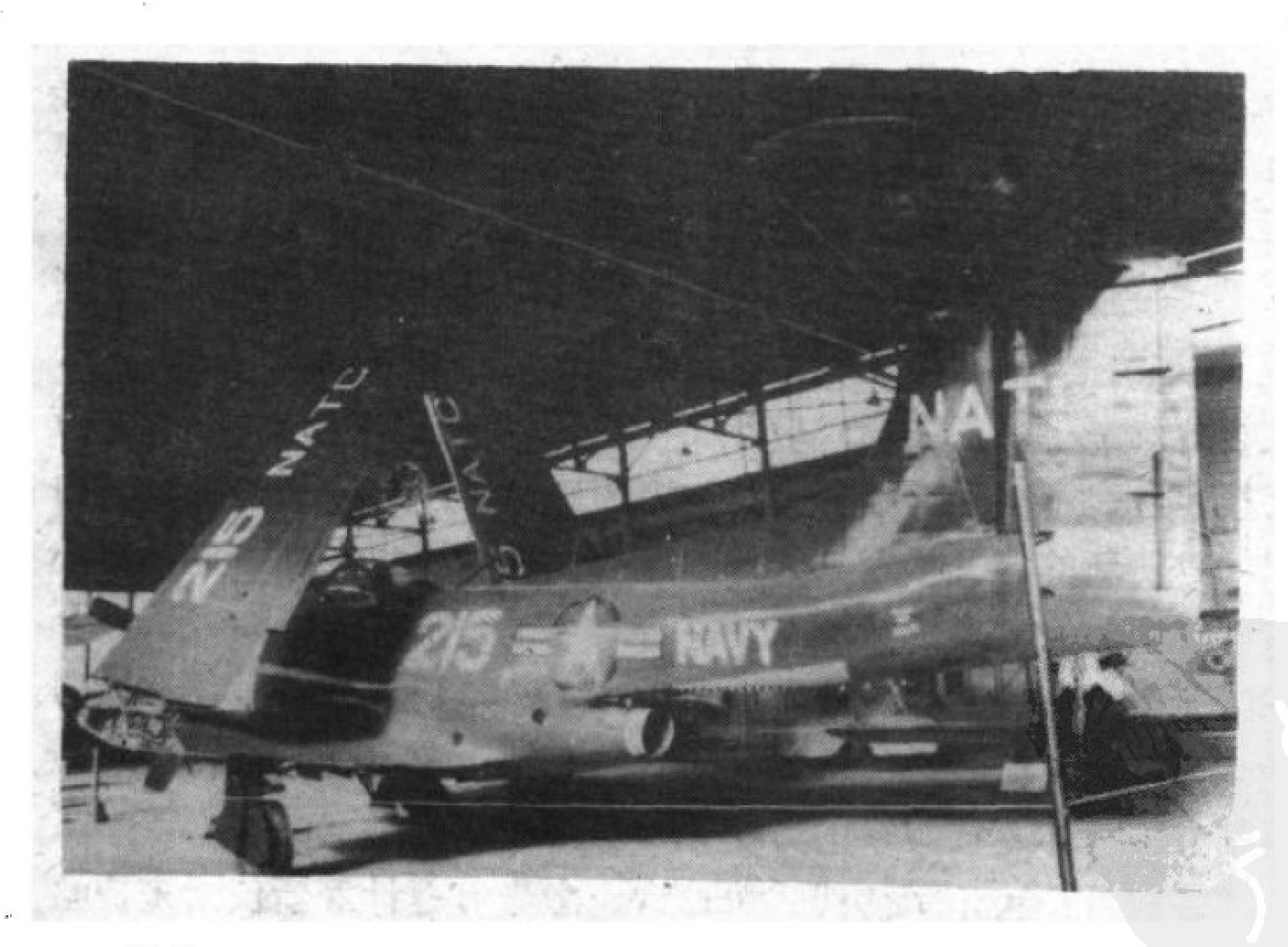
图13-3　研制成华丽造型的 P40 (Q)，可惜是第二次设计，未派上用场，为时晚矣

但那时战争已进入尾声，无望投产了。从这架美丽的试制飞机就

可以看出卡契斯公司雄厚的技术力量。虽然卡契斯 R3C－2 在竞技场中重展雄风，但是卡契斯公司却未能从此东山再起。

1941 年对 P40 型大功率发动机进行了换型，而 P51 型发动机的设计在 1940 年业已完成。卡契斯公司本应该对 1930 年以来优秀的前辈们的设计再作深入研究。但当时的领导班子对技术发展趋势反应迟钝，对设计目标漫不经心，缺乏紧迫感，缺乏追求，而那些意识到的人又不发表意见，缺乏积极性和勇气，这是导致该公司败落的主要原因。

在康涅狄格州的布拉德雷博物馆，陈放着一架奇形怪状的飞机。它的前头装有带普通螺旋桨的活塞式发动机，机体下面装有喷气式发动机。并写着“卡契斯制造的最后一架飞机，1945 年”字样。从这里可以看出，卡契斯公司对以后的发动机是采用喷气式，还是沿用活塞式举棋不定，结果把两种发动机都装上了。从这一优柔寡断中，可窥视其命运的影子（照片 13-3）。



照片13-3　卡契斯 XF15C－1 型战斗机（1945 年）。尽管留下了无数荣光，但卡契斯公司自推出这架飞机以后，便一蹶不振

14. 机油冷却问题

设计需要灵机一动。而灵机一动来自信念。没有信念的设计是拙劣的，只有信心十足，才能设计出佳作。

燃烧的控制

上面已经介绍过了，柴油机的排气净化一直是以氮氧化物（NO_X）为主要对象进行研究的。温度越高，氮气越容易与氧气结合，因此降低燃烧温度就可以减少 NO_X。

柴油发动机，当活塞上升到气缸上部时，向缸里喷射燃油。但要尽量延迟喷射期，以便降低 NO_X。因为燃烧最旺盛的时候，正是活塞开始迅速下降之时，所以燃烧温度却没有上升得很高。但是，理所当然在燃烧没有完全终止的过程中，燃烧气体便被排出去了。因此发动机的效率低下。为了防止这种现象，最好早一些结束燃烧。

要想尽早结束燃烧，最好尽快地使喷射到燃烧室内的燃油与空气混合。篝火越煽越旺，这是因为扰乱了空气，加速了空气的流动，使新的空气接近了火种的缘故。发动机也一样，尽量使进入气缸中的空气形成紊流，使混合气混乱，从而使燃油粒子拌合在空气中，燃烧便迅速完成了（图 14-1）。从研究气缸里什么样的气流为最佳紊流状态的伊始，研究就采用了象奥托所进行的对透明气缸内气体直接观察的方法。

日野公司采用了热线式风速计、激光流速计等新仪器来探索这种紊流（附录 A14－1）。由于改进了进气道形状，收到了气缸内紊流增强的效果。再试着对正好适合这种紊流的喷油状况进行

各种组合，与以往的发动机相比，热效率提高了，这就是日野微混合系统 HMMS（Hino Micro Mixing System）。

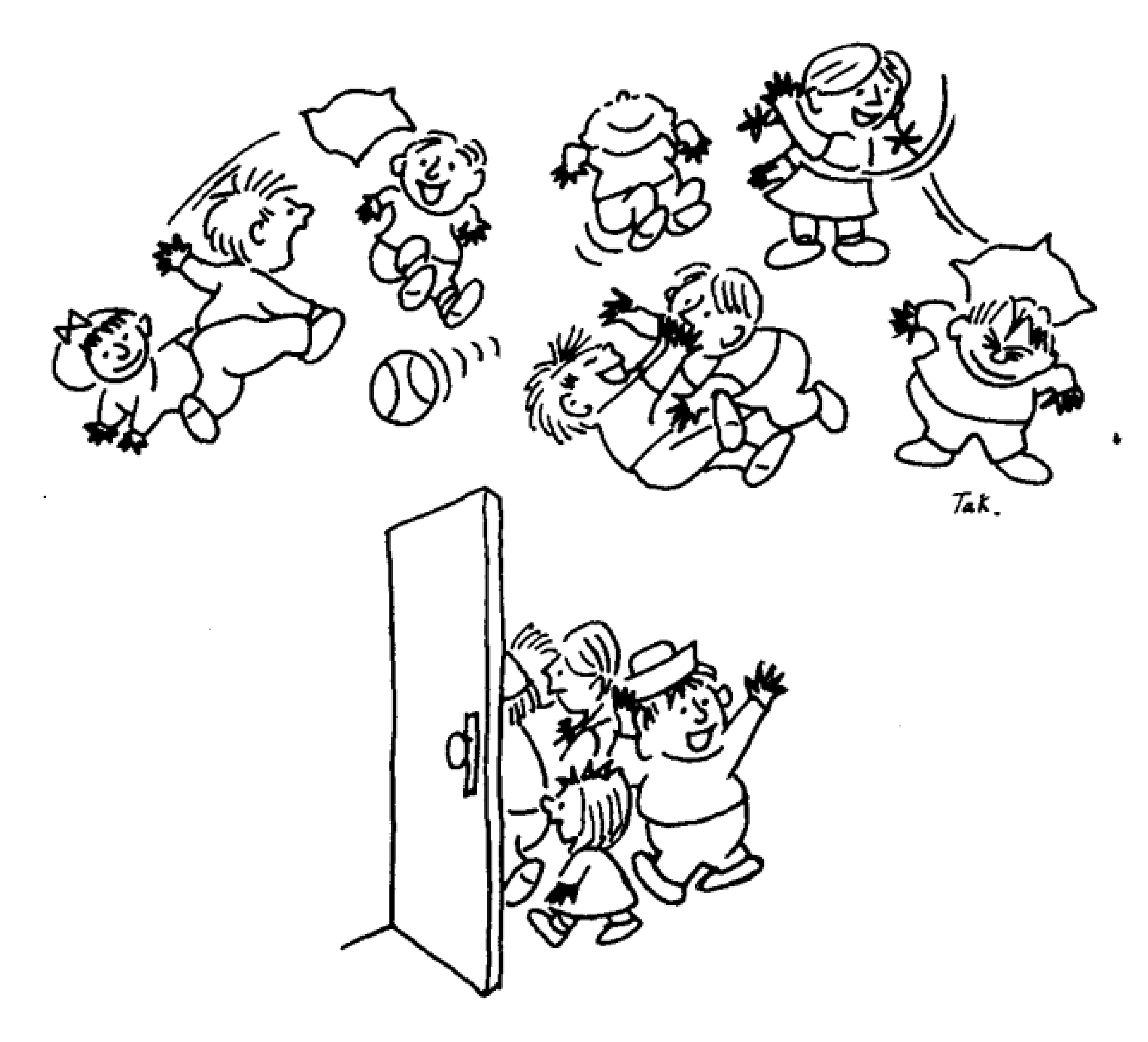


图14-1　越紊乱，燃烧结束的越早。为了尽快地燃烧，关键是尽量使混合气紊乱

提高机油冷却器的效率

为了尽快结束燃烧，如果使燃烧室里的气体形成紊流（就象小孩淘气把房间弄得一塌糊涂似的），则高温气体的温度就能很快地传至燃烧室壁。由于壁温升高，使水温和油温也都上升，冷却水用的散热器和冷却机油用的机油冷却器也都得加大。

载货汽车发动机的机油冷却器一般装配在发动机的侧面，用冷却水来冷却。但是，如果发动机布置空间意外地窄小，要想把冷却器加大哪怕 5mm，都需要高超的技术。近年来，为使载货汽车能多载货物，采用平头驾驶室，司机座位布置在发动机顶上，这就要

把发动机、散热器和行走机构等都挤在地板下面窄小的空间里。

下面介绍提高机油冷却器效率的几个小事例。

图 14-2 所示，为提高置于发动机侧面的机油冷却器的效率，而尝试改变挡板的形状和位置等种种方法。图中最上面的部分为原型的正视图和侧视图。冷却水从左侧进入，从右侧出来。但是，因为是发动机的侧面，中途有一部分水为冷却气缸而流走。在采取排气净化措施之前油温是 111℃；采取排气净化措施后上升到 114℃，虽然只差了 3℃，但却使发动机的寿命就此缩短了数以万计的行车里程。

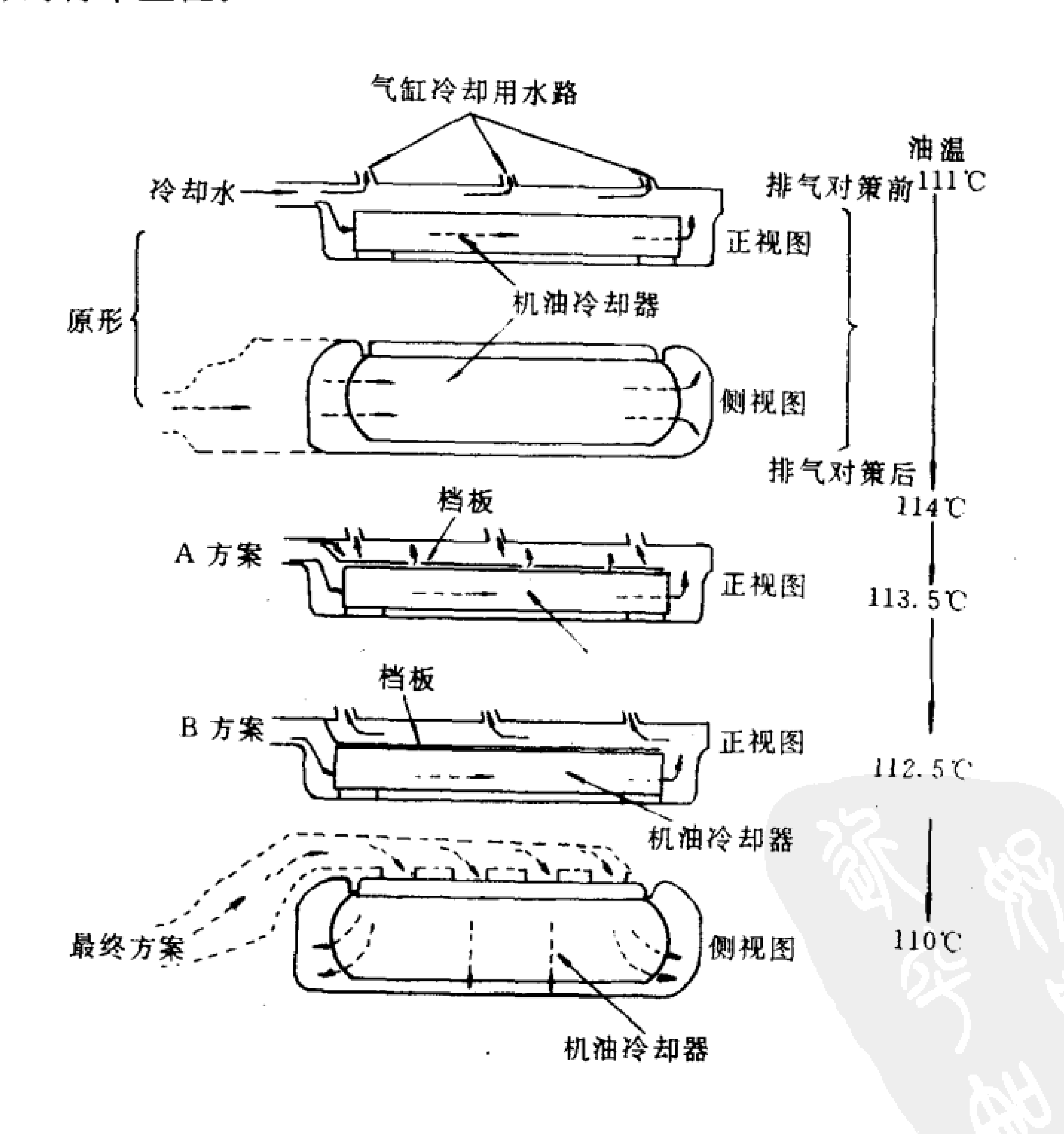


图 14-2 提高机油冷却器效率的各种方法

在这种情况下，加厚机油冷却器是很简单的。但这样一来，就必须改变汽车的大梁幅度。对汽车结构上的这种改动就好比对人作脊椎骨手术一样，是很难做到的。于是，试着在机油箱里设置各种形状的导流挡板，实验结果时好时坏，温度很难降下来。图中所示的是温度略有下降的两个例子。图的下部为打开这种僵局的设计，将过去从左侧进水改为从上部进水，油温才比最初有所降低。可见当各种条件具备时，因势利导的机智在所有的设计中都是非常重要的。

在这里，上一节贬低的 P40 型的设计恰似图中倒数第 2 个设计，只采取了把冷却器布置在发动机下面的方式，没有大胆地把它移至别的位置。这里示出的机油冷却器的例子，如果没有尝试将冷却水从侧面改为上部流入的话，那么就只好加宽发动机了。

不运用智慧的设计，是拙劣的设计。智慧不会从天降，也无人教授于我们，翻参考书也无济于事。只有日以继夜，锲而不舍地执著追求，才会有收获。

15. HMMS（Hino Micro Mixing System）（日野微混合系统）

找到征服柴油机的 NO_X 的办法了吗？其机理是什么？

副室式或直喷式

1971 年，为了讨论当时日趋紧迫的柴油机的排气对策，我赴奥地利的 AVL 研究所拜访了 Dr・A・夏特莱博士。

为了征服柴油机的 NO_X 排放问题，如前所述，可采取延迟喷油期的方法。但这样作，会导致排烟浓度急剧恶化，怎样才能解决 NO_X 的排放问题呢？世界各国的柴油机生产厂家一度曾束手无策。

但是，如果采用副室式燃烧室，NO_X 的排放量从开始就极其低下，排出的黑烟也不会急剧恶化。因此人们倾向采用副室式。所谓副室式就是在燃烧室里设有副室，把燃油喷射到副室内着火，而主燃料在其外侧的主室内燃烧的方法（参考第 32 章图 32-2）。

相对而言，所谓直接喷射式是立即把燃油喷入主燃油室的方式。实际上日野汽车工业公司在几年前刚把其主力发动机由副室式改为直喷式的。改动的第一个原因是因为据我们判断，在迅速发展的高速道路的行驶条件下，副室式发动机由于其热负荷高（局部高温），其寿命无法满足用户的要求。那么是否得再次舍弃直喷式呢？

为什么直喷式发动机排放的 NO_X 少呢？当时，根据威斯康星大学的纽霍尔的理论计算，很容易在理论上加以说明。纽霍尔最

初在 Zeledovich 机构的基础上进行的计算，是根据反应温度预测 NO_x 的生成，计算证明副室式排放的 NO_x 格外少（附录 A15-1）。

在这种情况下，夏特莱博士却指出，采用直喷式也行。“其奥秘何在？”问之。由于夏特莱与 AVL 已签约，所以只让我看了样机，却未能得到期待的答复。

神秘的进气道之探索

回来的路上，我试着回忆讨论中的每个细节。并且回想着晚宴上与 AVL 其他研究员的谈话，他们对我嘟囔着说：“还得采用副室式！”我断定他们也是一无所知，秘密就握在夏特莱手里。我刚返回斯图加特，马上退掉回日的机票，重返 AVL，向夏特莱寻根问底。他终于说了实话（图 15-1）。

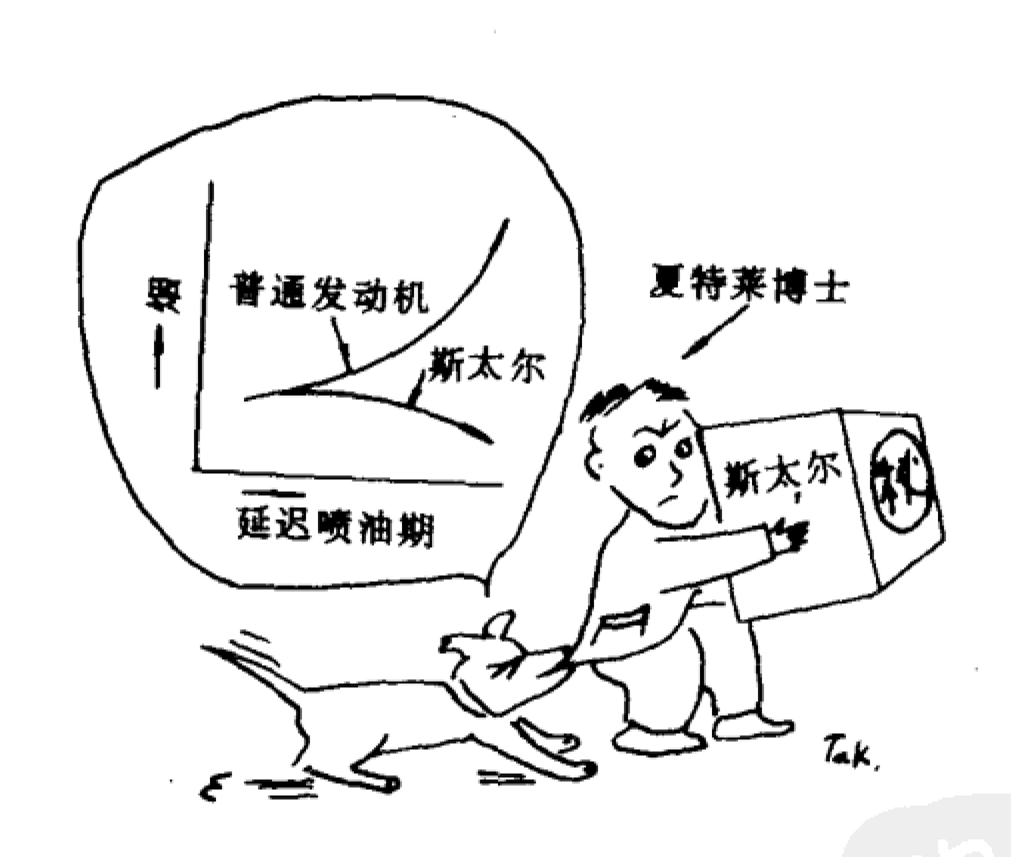


图 15-1　扑奔夏特莱博士不肯离去，精诚所至，金石为开

实际上他也说不清道理，只是说：“如果对世界上的发动机作一番调查，你就会发现，只有一种发动机在采取延迟喷油期措施后，其排放的黑烟不黑。这样干不就行了吗？”“这是什么发动机？”夏特莱告诉我说：“斯太尔，120mm×120mm（缸径×活塞行程）

发动机”。我飞奔回国。为了探求这一秘密，我日以继夜地把自己关在研究室里。一天夜里，我终于发现了该机所具有的特异空气流。采用这种发动机的进气道，进入气缸内的空气分成主流和副流，它们在气缸内相撞。使燃烧速度变快，从而降低了 NO_x 的排放量，排放的黑烟也不恶化。也就是说，在进气道形状上动脑筋，找到了与之相适的燃烧系统（燃油喷射系、燃烧室等）就可以。就这样，日野开发出 HMMS。

附录 A15-1　直喷式与副室式柴油机的 NO_x

70 年代初期，威斯康星大学的研究小组在理论上对直喷式和副室式作了阐述，表明副室式从燃烧机理上看 NO_x 排放量少。

当一种物质与另一种物质反应生成第三种物质时，瞬间反复进行各种反应，最后得到平衡。其中间反应叫做基本反应过程。威斯康星大学的纽霍尔运用这种基本反应的计算，求出了 NO_x 的生成过程。

纽霍尔运用 H·K·Zeldovich 提倡的如下基本反应（称作 Zeledovich Mechanism)，阐明了氮与氧是怎样反复进行基本反应的。

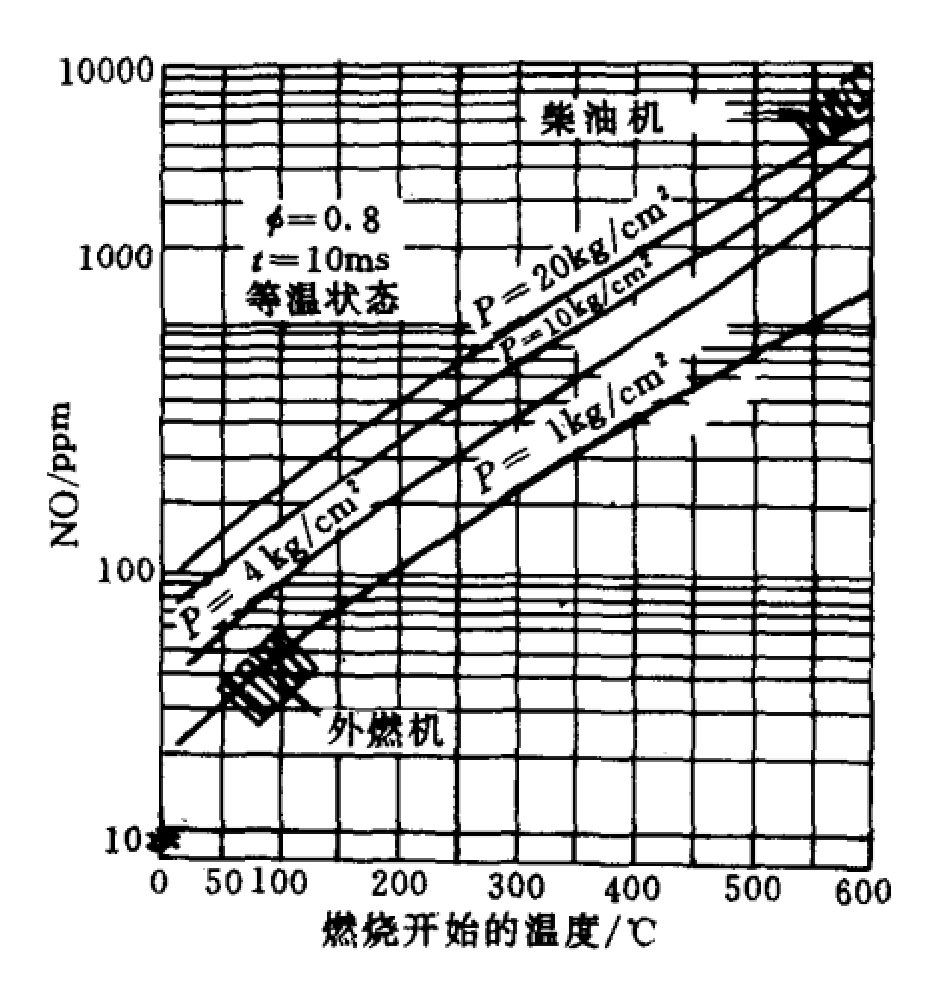
$$N_2+O_2 \rightleftharpoons NO+N$$

$$N+O_2 \rightleftharpoons NO+O$$

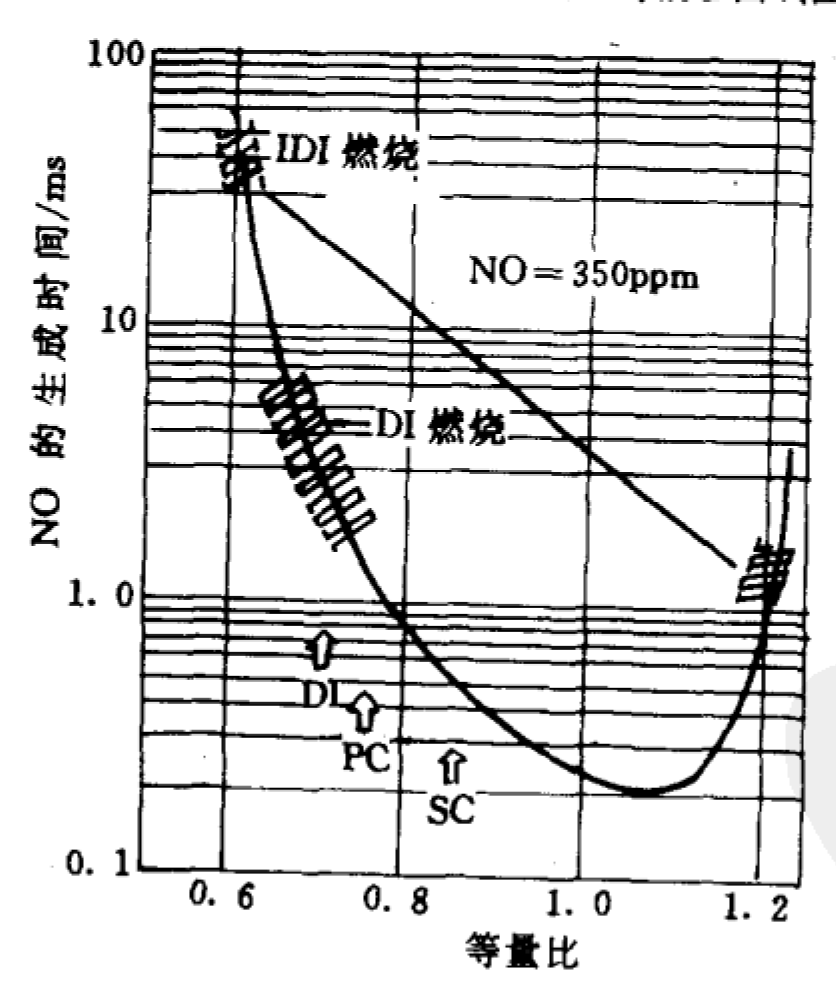
首先，压力和温度对 NO 的生成是如何起作用的结论示于图 A15-1。其次，了解到外燃机与内燃机相比是极其有利的。从这里可以看出蒸汽发动机和斯特林发动机势头看好（参考第 39 章)。

直喷式和副室式的 NO_x 排放量之比较示于图 A15-2。横坐标是用等量比（无过不足反应的比例，即理论空燃比为 1 时示出的比率）表示燃油与空气的混合比例，相应地计算在一定条件下 NO 的生成时间。

采用副室时，最初在副室内的浓混合气状态（等量比约为



图A15-1　燃烧开始时的温度与气压条件与NO生成的关系。根据纽霍尔的计算结果，绘制的外燃机与柴油机的概念曲线图



图A15-2　等量比与NO生成时间（基于纽霍尔的计算结果，将DI和IDI的燃烧概念用曲线表示出）

1.2）下着火，形成主燃烧在稀薄状态下进行的所谓二级燃烧，与图中作对比的直喷式相较，NO 的生成时间特别长，即排出的 NO 量少。

图中 DI、PC 和 SC 分别表示直喷式、预燃烧室式和涡流室式（参考图 32-2）的平均等量化，PC 和 SC 为二级燃烧。

附录 A15-2　气缸中的空气紊流与 HMMS

为了测量气缸中的空气紊流，人们尝试了各种方法，但以前没有人进行过紊流与燃烧之间关系的研究。日野进行了非常巧妙的实验，查明了紊流与燃烧的关系，1980 年 2 月，在底特律召开的美国工程师协会（SAE）年会上发表，引起很大反响。

首先，使电流通过称作热线式速度计的直径为 5μm（（5/1000）mm）左右的极细的铂铑合金的金属丝，然后将其置于气缸的紊流空气流中，测量气缸里的空气紊流流速的变化。电流通过金属丝使其变热。但是如果空气的流动加快，则金属丝受冷而使温度降低。如果想使金属丝的温度保持一定，则需额外地增加通过的电流。也就是说，如果金属丝上通以与空气的流速成正比的电流的话，那么金属丝的温度就恒定。

采用这个原理，根据在一定温度的金属丝里所通过的电流的变化，就能测量空气的紊流。但是所测得的结果，只能知道不规则的变化，所以把它按每个变化的频率来分析，进而根据波数来表示频率。所谓波数是指在某一频率下的振动数是否是平均流速的几倍的数值。即，假设圆周波数为 $2\pi n$（Hz），平均流速为 u（m/s），那么波数 k 用下式表示：

$$k=\frac{2\pi n}{u}$$

分别采用普通的进气道和日野 HMMS 的进气道，在缸径相同的气缸中，给出一定的流出阻力，将空气吸出。于是，如图 A15-3 所示，根据空气的紊流速度来求得紊流能，结果证明 HMMS 的紊流能远远高于普通型的。接着，通过玻璃活塞用高速摄影机将

具有如此差异的燃烧拍照下来，其差异更清晰地再现了。我们不但进行了拍照对比，而且还采用了条纹照相法，即把镜头组合起来，拍下混合气密度变化。由此可知，空气紊流强的，能与喷油阀喷出的燃油很好地混合，因而密度的变化快，火焰的进展也快。

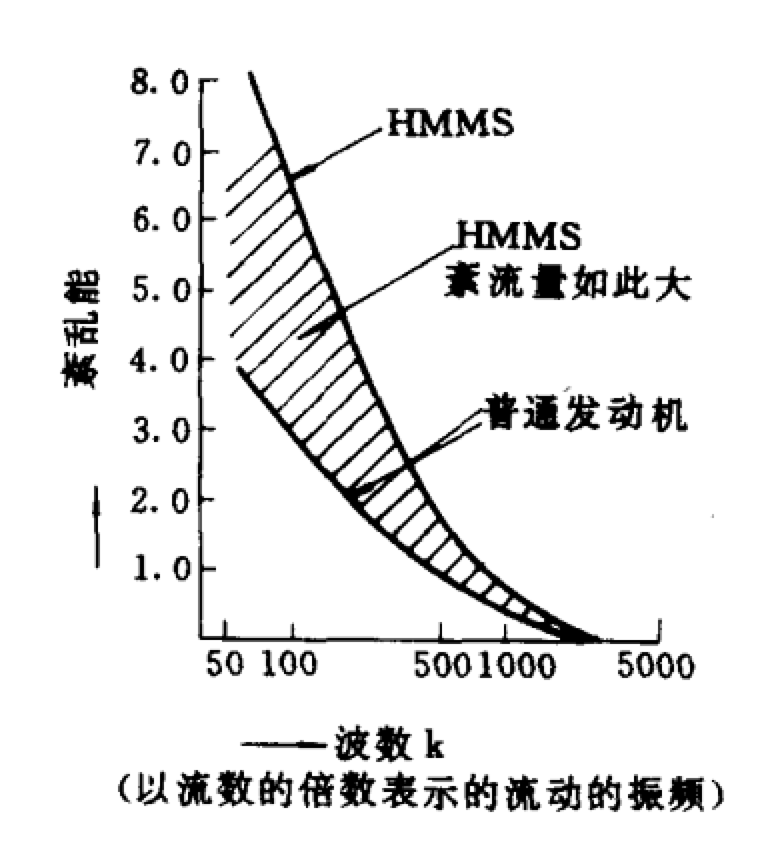
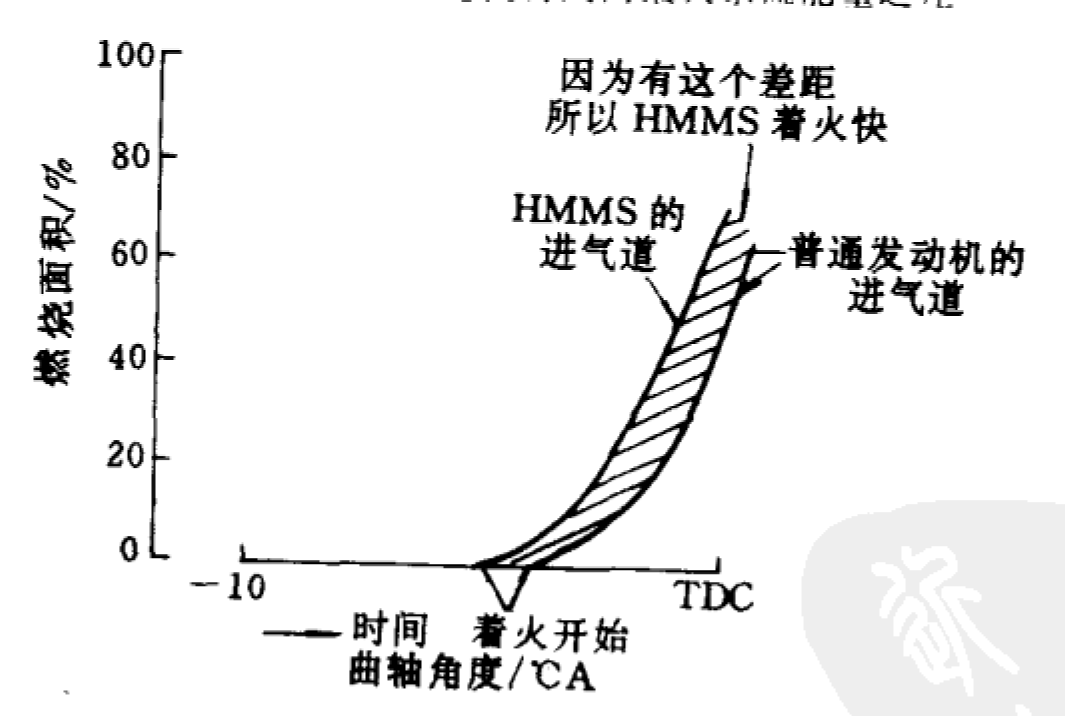


图 A15-3　通过测量稳定流得到的最大紊流能量之差



图A15-4　燃烧的进展情况。以火焰在燃烧室内蔓延的面积比较，可知 HMMS 燃烧扩展迅速，这如强风吹过，火势迅速蔓延一般

图 A15-4 是对高速照相机拍摄的照片进行分析的燃烧进展情况。由此可见，采用 HMMS 的进气道，使气缸中紊流加大，燃烧扩散非常迅速。

图 A15-5 所示，为 HMMS 的燃烧时间更短，热效率高，油耗少的情况。

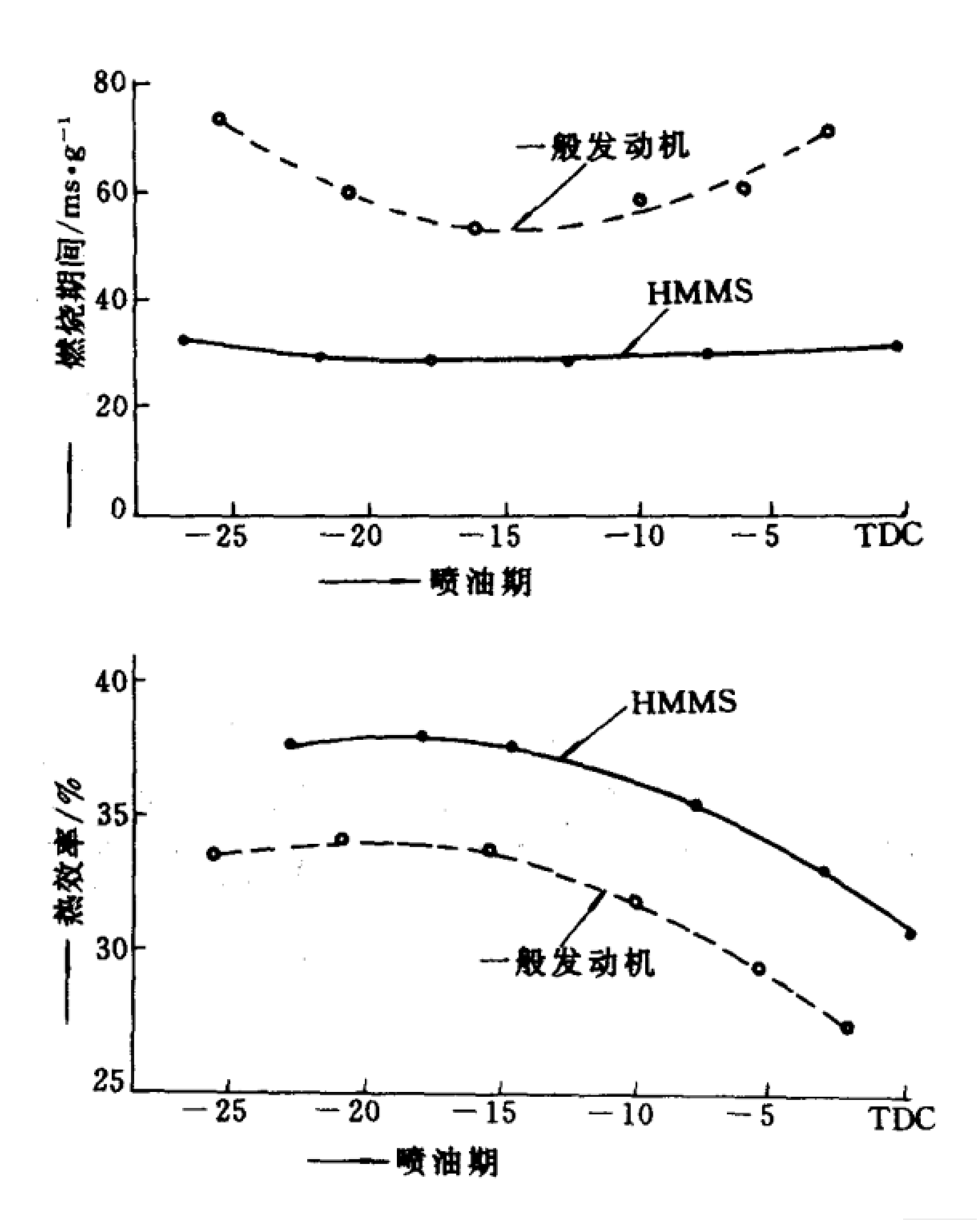


图 A15-5　燃烧时间与热效率的比较（2400r/min、4/4 负荷）

用高速照相机拍摄燃烧室内部的方法很早以前就在汽油机采用了。但是，在柴油机上由于爆发压力高，尤其是通过玻璃活塞拍摄燃烧室全景的工作迟迟没有进行。因此这是日野公司在世界上首次获得成功的先例（参考第 22 章）。

附录 A15-3 HMMS 的假说

如前所述，通过固定装置测量的是紊流的能量而不是实际发动机燃烧时的状态。这样的紊流为什么会有利于发动机的燃烧呢？现在还不能解释得很透彻。下面示出有关柴油燃烧的一个部分的考察情况。

燃油从喷射到着火需要一定的时间，即燃油的油滴在被周围空气蒸发的同时被加热，在蒸发的部位，燃油与空气正好以容易点火的条件下混合，而且为煤油达到自行点火温度的时间，称作点火延迟时期。当发动机转速为 2400r/min 时，这个时间约为 0.5ms；当转速为 1000r/min 时约为 1ms。点火后燃烧随着燃油的喷射不断地扩散。扩散达到峰值的时间：当发动机在 2400r/min 时为 0.5ms；在 1000r/min 时为 2.5ms。

如果说紊流起作用的话，那就是在燃油喷射后到点火期间，或者在进入扩散燃烧后到扩散达到峰值期间（或者也可按从燃油喷射时起到扩散燃烧的峰值来考虑）。

另一方面，设气缸内的空气流速与活塞速度相同时，按照活塞的行程变化，大致如下：

2400r/min 时流速≈12m/s

1000r/min 时流速≈4m/s

空气流入气缸里的时候，一般变成旋转流，其流速大致约为活塞速度的 2 倍。

如果用波数来表示点火延迟期，设发动机转速为 2400r/min 时，0.5ms 相当于 2000Hz。

$$\text{波数}=\frac{2\pi n}{u}=\frac{2\pi\times 2000}{12\ (\text{无涡流})\sim 24\ (\text{涡流比 }2)}$$

$$=1050\sim 530$$

设 1000r/min 时：1ms 相当于 1000Hz

$$\text{波数}=\frac{2\pi n}{u}=\frac{2\pi 1000}{4\sim 8}=1570\sim 780$$

从点火时到扩散燃烧的峰值时，2400r/min 时为 0.5ms，那么

$$波数=\frac{2\pi n}{u}=1050\sim530$$

当 1000r/min 时，相当于 2.5ms 相当于 400Hz

$$波数=\frac{2\pi n}{u}=\frac{2\pi\times400}{4\sim8}=630\sim310$$

即，应作为对象的紊流大致为 300～1500 以上（如果考虑从喷射到峰值，那么最低约为 200）。

假设燃油粒子在这个期间内左右摇动 1 次，那么其波数正好等于上述波数的 2 倍。

这里，有必要介绍一下科卢莫戈罗夫（A·N·Kolmogolov）的理论。苏联数学家科卢莫戈罗夫在流体力学的研究中，在大量的实验数据和与涡流大小有关的局部各向同性假说的基础上(Hypothesis of Localisotropy)，发现紊流的能量与波数具有如下特点。即紊流大致被分成如下区域：大涡流区是由流体的变形产生涡旋的领域；小涡流区是由流体的粘性阻力，涡流的能量变成热量逸散，即为涡流消失区。在其间还有一个被称作惯性小区的过渡区。把大涡流区能量依次转移过来，并使能量转移到小涡流区。也就是说，这个区的涡流一方面释放能量，一方面又得到能量补充，所以不衰减。并且，这个惯性小区的紊流能量与波数的－5/3 次方成正比。即如下理论成立：

$$E(K)=\alpha\varepsilon^{2/3}\cdot K^{-5/3}$$

式中，K——波数；

ε——逸散系数；

α——常数。

用对数刻度改写 HMMS 与一般发动机的紊流能量的话，则如图 A15-6 所示，表示出很规矩地与－5/3 乘方成比例，从这里可以看出 HMMS 具有很大的能量。并且可看出构成对象的波数与燃烧时的考察值一致。

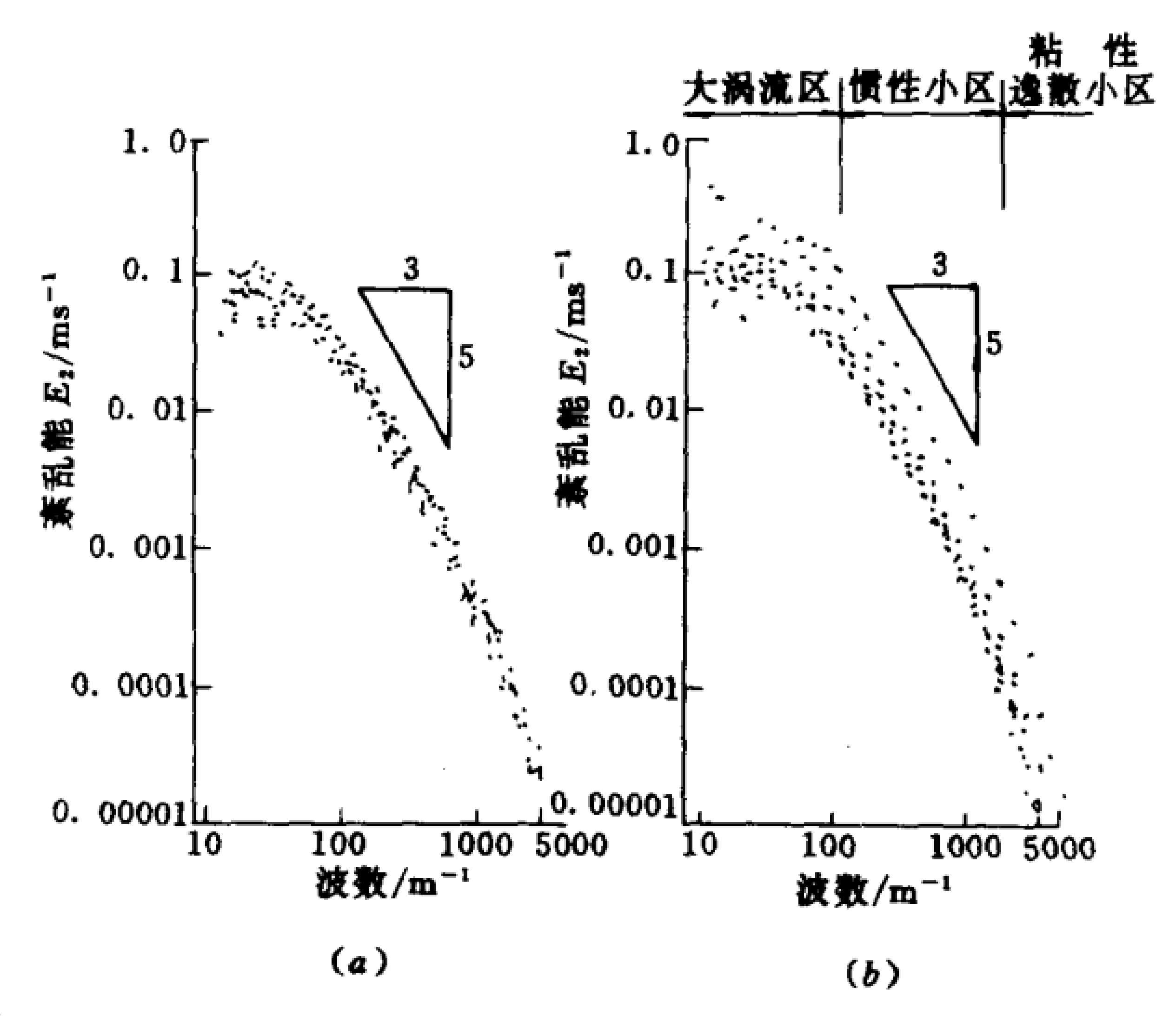


图 A15-6 紊流能谱之比较（根据科卢莫戈罗夫理论构成的波数范围）

(*a*) 普通发动机气道；(*b*) HMMS 气道

也就是说，可以认为 HMMS 在进气时给予惯性小区的紊流能量大，在压缩行程时也未衰减，即使没有燃油粒子，保存下来的能量也能使蒸发了的部分振动，与空气很好地进行混合。

目前这个想法还处于假说阶段。使假说成立的科卢莫戈罗夫理论也是以假说为前提的。这一假说今后如果在严密的实验中得到验证，就会成为原理或定理。在徒然追求完备的理论之前，不妨设立假说求证着向前走走。

第九章介绍的卡诺定理在未被汤姆逊(后被罗德·克尔宾)认可之前的 20 年间，也曾是孤立无援的假说。

附录 A15-4　HMMS 中紊流发生的机理

照片 A15-1 为在 HMMS 发动机中，从进气道流入的空气分成主流和副流，在气缸中再次相撞状况的观察结果。进一步测试

这种状况，观察紊流发生的机理，则如图 A15-7 所示的概念图那样，相对于主流，与流速不同的副流相撞后，由于两个流的速度差，发生了紊乱的这种推测成立。这种紊流可根据上述的科卢莫戈罗夫的假说，难以衰减，结果使压缩行程后期的燃料喷雾和空气很好地进行混合，有利于改善燃烧状况。



照片 A15-1　相对于主流 F_1，发生了副流 F_2，正在冲突中

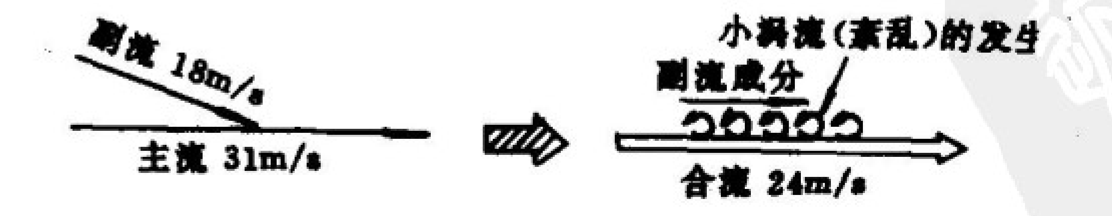


图 A15-7　两个流速不同的流相撞，发生紊流，这种紊流可改善燃烧

16. 冷却问题（2）

因密凯洛泰闹别扭而获成功的康特萨。因怄气而成功的基83战斗机。

密凯洛泰的拒绝

1961年4月，也就是康特萨900风光地投放市场的那一天，日野汽车工业公司给意大利的汽车车形设计师G·密凯洛泰发了一封信，决定委托他给正在绝密进行中的下一代轿车——康特萨1300作车形设计，并给出了设计所需的必备条件。

日野继承与法国雷诺汽车公司合作以来的波尔舍传统形式，新型轿车决定采用后置发动机。负责发动机设计的我，硬性附加了一个冷却空气进口的“前面通风面积不得小于1500cm²”的条件。我期盼着世界级巨匠密凯洛泰能在车身后部附加一个合适的导气口。

不久，密凯洛泰不负所望，寄来了他的设计。无论从整体的协调性，还是细部的布局，看上去都体现出小型轿车的理想。但是，他对我要求的进气口怎样体现了呢？他只是把一个粗大的口子随便地安装在后挡泥板上（照片16-1)。根据我的要求，整个车形设计作废了。这不仅仅是整体造型问题，试想一个尾巴向外鼓起的汽车，开出去肯定会到处碰撞，这是极其危险的。显然，这是密凯洛泰的变相拒绝，该怎么办呢？

这时，恰好从去欧洽谈归来的藤沢係长当时在那里获悉：首次在日内瓦汽车博览会上展出的新型雷诺(雷诺R8),仍然采用后置水冷发动机。但冷却空气进口不是在侧面，而是布置在车身后上部的格栅进气，并且散热器布置在车身后端。设计班子被迫对基本设计方案作了重新探讨。



照片16-1　康特萨 13001 号样车。在该车的前面，尾部突起的进气口，好似雷尼·苏兰屁股上挂着的“万宝囊”（E·密凯洛泰先生提供）

照片16-2　康特萨 900“短跑家”。密凯洛泰为该车设计了冷却空气进气口，这是日野所期望的车身造型

神经过敏的雷诺集团

说点题外话。如图 16-1 所示，康特萨 900 忠实地继承了雷诺 4CV 汽车的散热器布置方式。法国雷诺集团对于日野公司按照合同 4CV 实现国产化仅 3 年半（1961 年）出现的康特萨 900，有些神经过敏：他们怀疑是仿制，特地派技术人员来详细调查。这时日野方面也慌了，日野必须作出有力的反驳，说明康特萨 900 的设计不是抄袭，散热器的布置也不是模仿雷诺的，而是采用了传统的方式。于是，我拼命地查找文献，终于从大量的文献中，发现了 1935 年问世的本茨 170H 型，这一与雷诺一模一样的汽车。根据这一难以忘却的事实，日野理直气壮地反驳说："康特萨的散热器布置是采用了众所周知的方式，而不是抄袭雷诺的。"

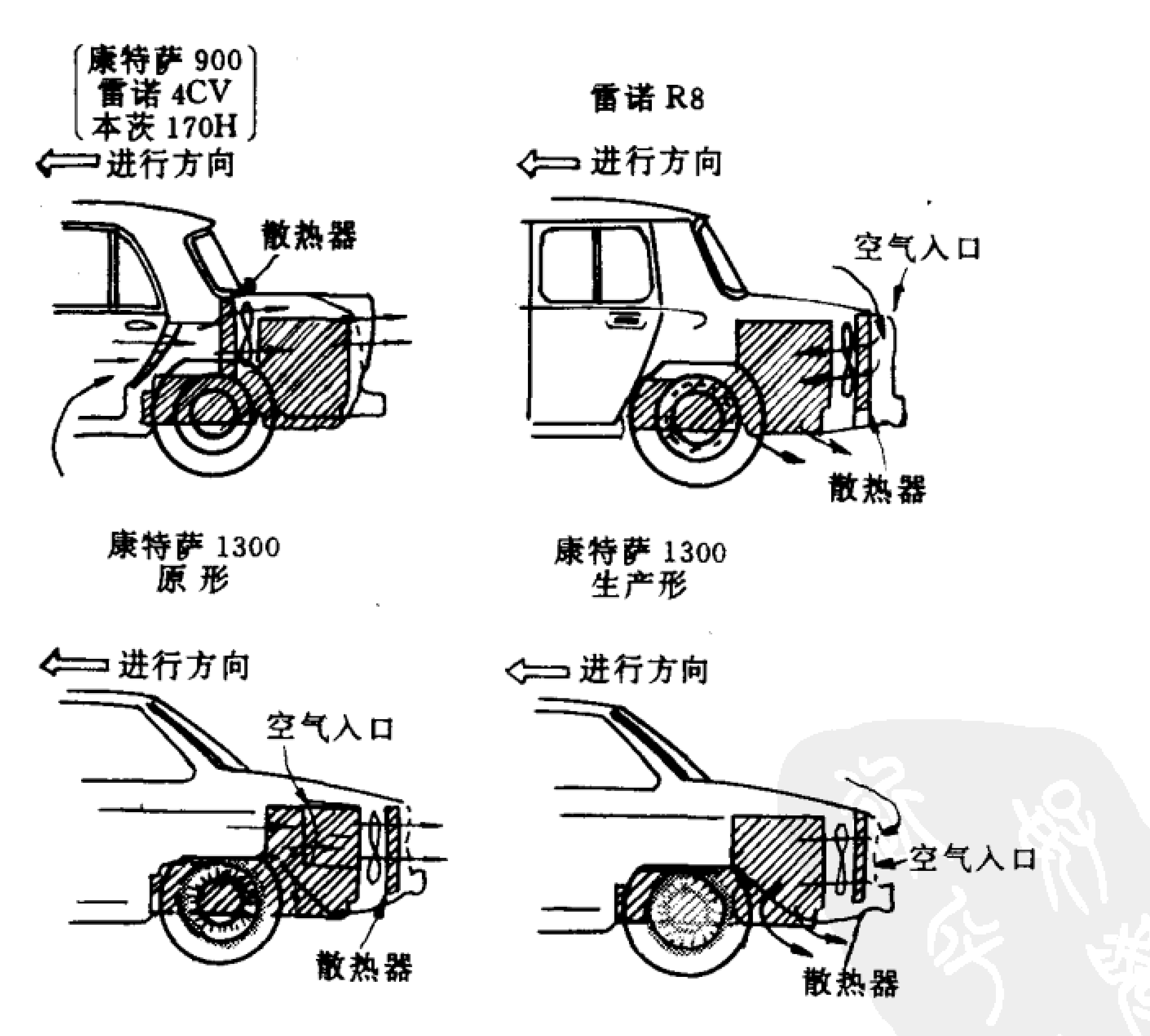
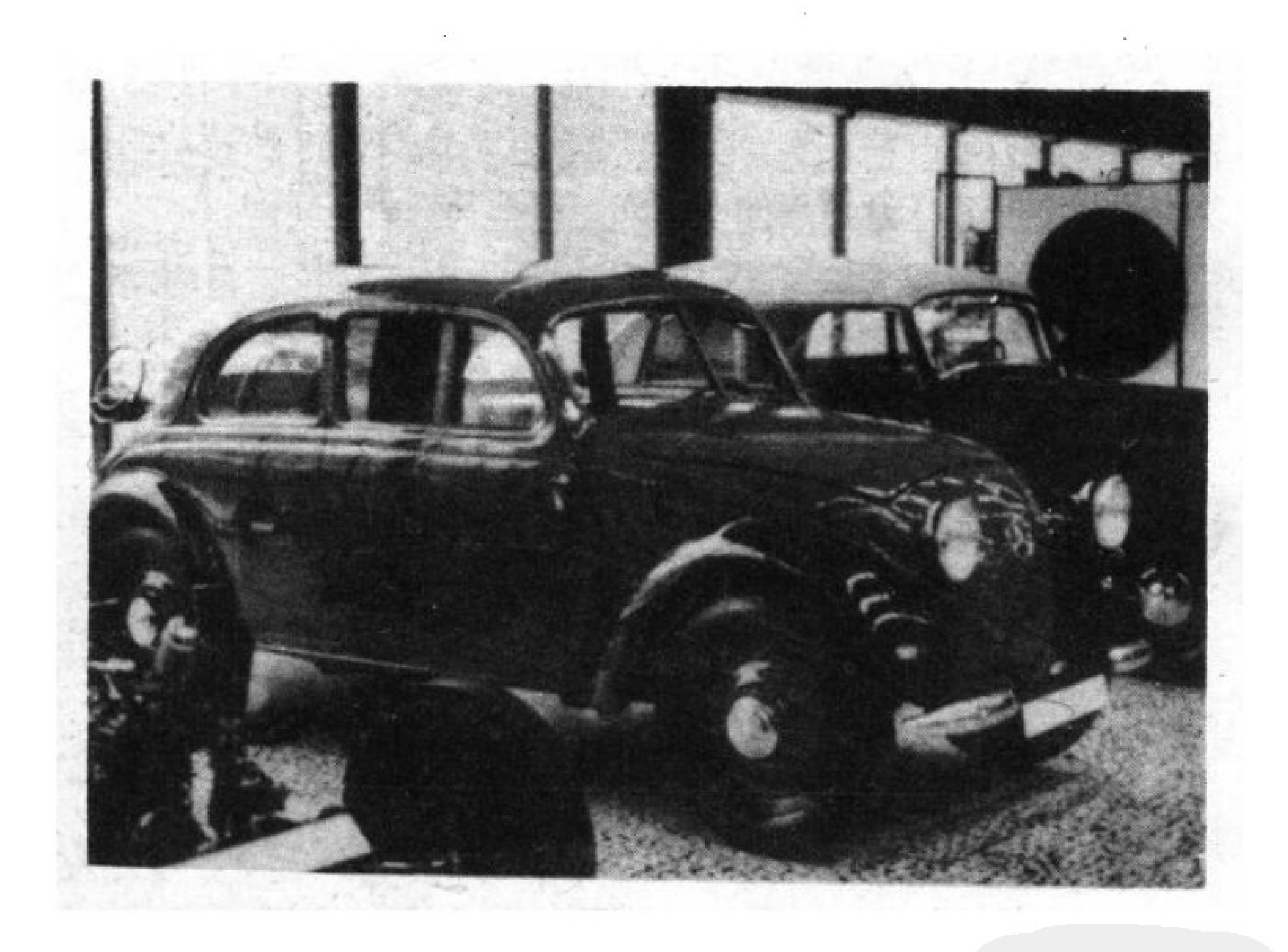
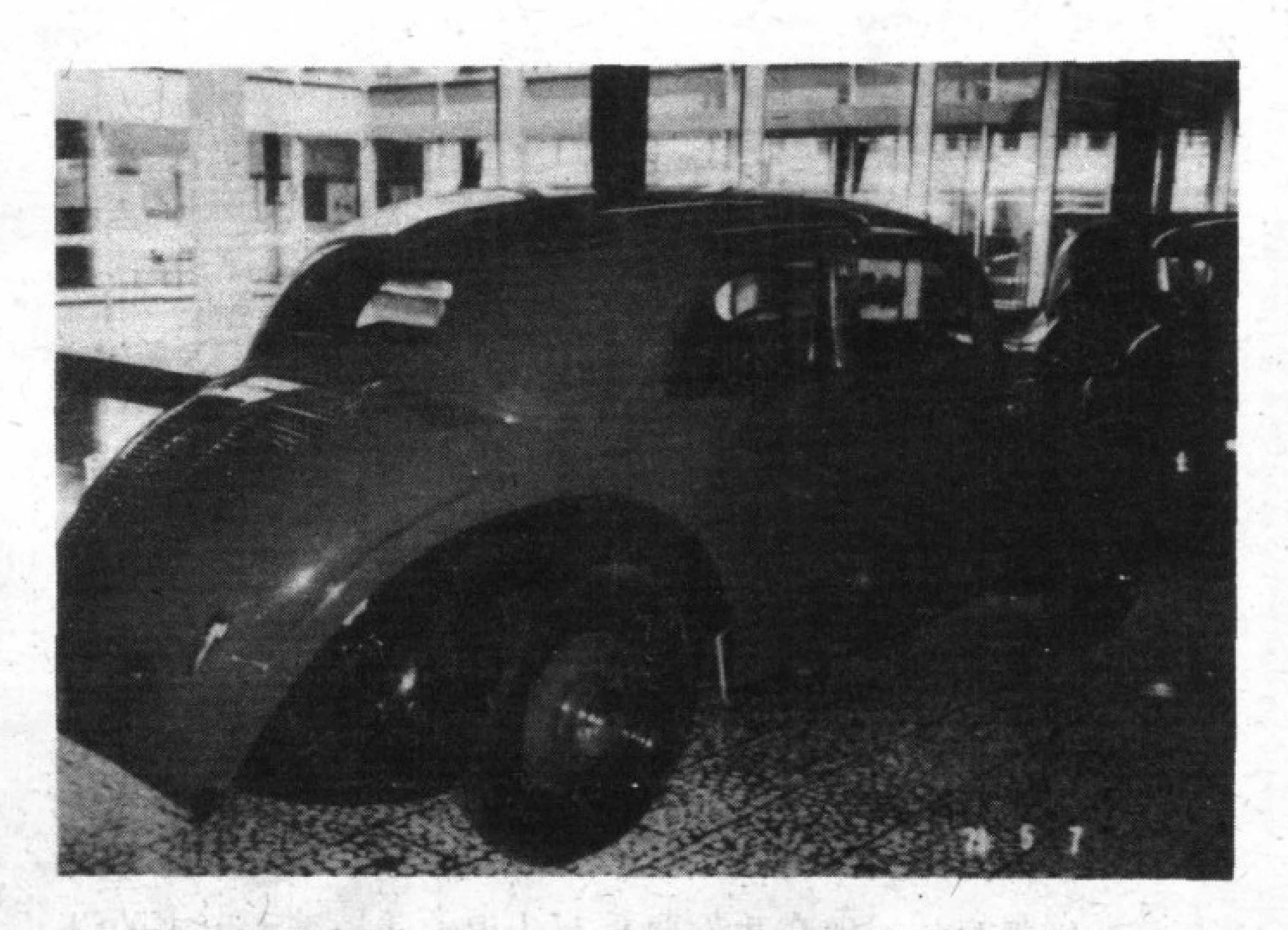


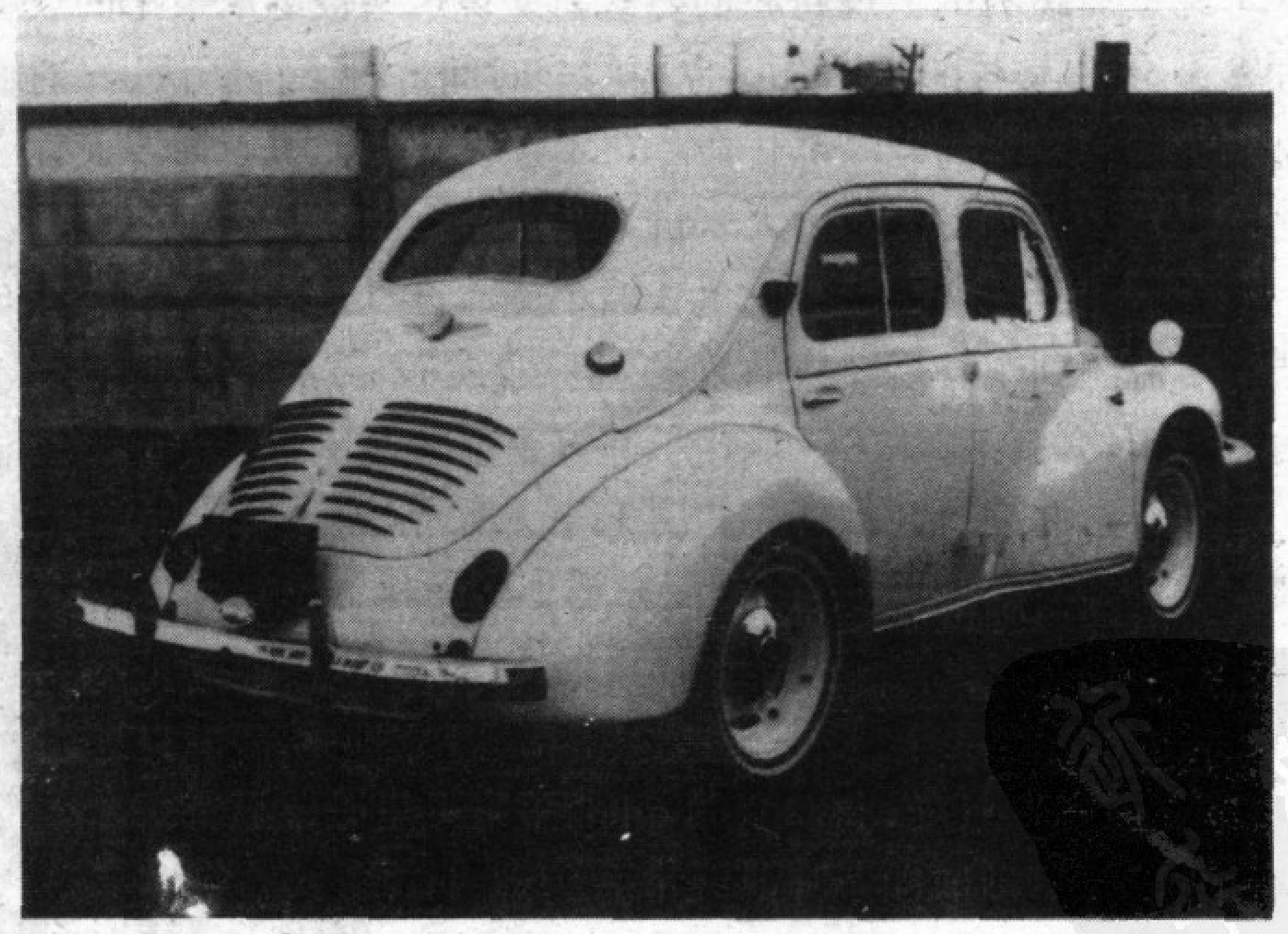
图16-1　本茨 170H 采用的后置发动机的冷却方式，嫡系的雷诺以及日野都作了进一步的研究

尔后 8 年，没想到我在本茨博物馆竟然能够面对本茨 170H 型发动机的实物，真是感慨万分哪（照片 16-3）！据记载，最早的散热器后置的汽车，是由 1929 年晋升为本茨的总工艺师——汉斯·尼贝尔，于 1923 年设计的 2L 赛车（图 16-2）。到了 1935 年，装有后置散热器的本茨 170H 型问世。再后来，这种方式被波尔舍运用到大众车上，并且为雷诺 4CV（图 16-1）所沿袭。我替 4CV 寻到了根（照片 16-4），仅此而已。



照片16-3　本茨 170H（1935 年）。在本茨博物馆出乎意外地看到了当年拼命查找文献的后置发动机的先驱，感慨万分





照片16-4　（上）本茨 170H；（下）雷诺 4CV。儿子的屁股与老子的一模一样

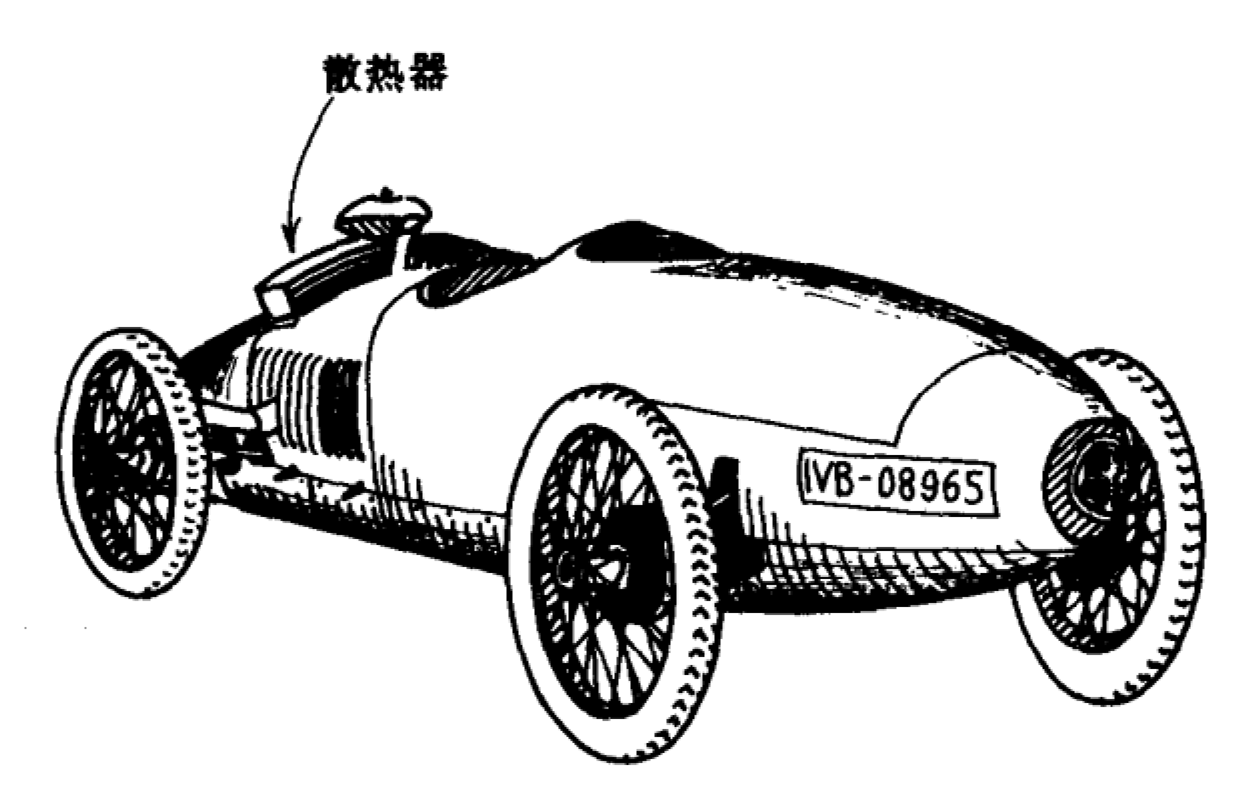


图16-2　汉斯·尼贝尔设计的1923年的赛车。似乎这辆本茨车是康特萨的根

发动机舱的设计

再说点离题的话。现在我们要重新认识这些被继承下来的设计方案。当然，嫡传的雷诺公司也在同一时间进行了重新认识。对于这些问题，当时的岩崎部长命令，不要设计发动机，而要设计发动机舱。对于搞发动机的人来讲，这个命令实在是至理名言。

首先，按一般常理，讨论了在缩小侧面进气口的同时，把散热器的后流压到车身后面去的方式。但是，觉得冷却不够充分，风扇的后流不均匀。我认为应该作基础调查，并请求委托大学作实验，这一要求立刻得到批准。如图 15 - 1 所示，有关压风式和吸风式优缺点的基础调查，是由庆应大学小茂鸟和生教授（当时）的研究室进行的。同时，厂方的研究部门也讨论了各种设计方案，还作了风洞试验，重点调查了行驶中，特别是车身后部的空气压力的分布情况（附录 A15）。

经过这些研究后，认识到为了避免冷却空气从后面吸入，在地板下排出，排出的空气又回到后面再吸入，在保险杠与车身之间设置了一个挡板。并且，为了避免后置发动机的排气被再吸进来，如果将排气管的位置布置得当，那么吸风式就会比原来的压

风式更好。

为了进一步降低发动机舱内温度，决定把发动机倾斜 30 度，而且尽量减短伸入室内的排气管长度。也就是说，后置发动机的发动机舱容易变热，特别是在盛夏的炎热天气里，发动机停机后，因热导致化油器里的燃油沸腾，溢到发动机内，发动机就会发动不起来。咖啡用咖啡渗滤壶烧开了冒出来，味道最好。汽油机的这种开锅溢出的现象，仍被称作渗滤，但是发动机的热渗可不好。为了防止开锅，有时采取在化油器上设置通气孔的措施，就象药罐上开孔一样。欧洲系的几个车都曾采取过这个办法，但是因为耽心从这个通气孔溢出汽油，在最恶劣的情况下会着火，所以决定不开了。

汽油机在寒冷时还需要预热进气管，虽然通常采取使排气管与进气管紧挨着措施来解决，但是，这样一来，在盛夏季节，化油器额外地被加热，热渗发生的频度增加。为了避免这种现象，康特萨决定利用冷却水预热进气管，寒冷时预热发动机的化油器阻气门（寒冷时由于燃油汽化不好，额外供给燃油的装置），采用了日本最初的电气式自动阻气门，可根据水温的上升情况加以控制。进而又考虑到上坡时由于发动机内水温过热引起冷却水循环不良，从发动机到散热器的水路，特地设计成从发动机前方排出方式。

由于这样多方面的开动脑筋，康特萨 1300 这一独具匠心的发动机舱终于研制出来了。即使在室外温度高达 40～45℃的酷热天气里，也不会发生热渗；严寒季节的起动和预热均不成问题（照片 15-5）。

康特萨 1300 于 1964 年发表。在其问世的前一年，英国罗茨集团推出了水冷后置发动机的希尔曼茵普牌车，曾一度很受欢迎。但是，日野在开发康特萨时所担心的问题，在该车上全部发生了。

即，过热和由于冷却水循环不良引起的缸盖垫片漏气，化油器的溢流，即热渗，后置发动机专用的气动式加速踏板联动装置

不良，空气滤清器的早期堵塞以及火灾等。



照片16-5　康特萨1300独特的发动机舱。上面和侧面均未开通气孔，康特萨的尾巴收拢得很巧妙

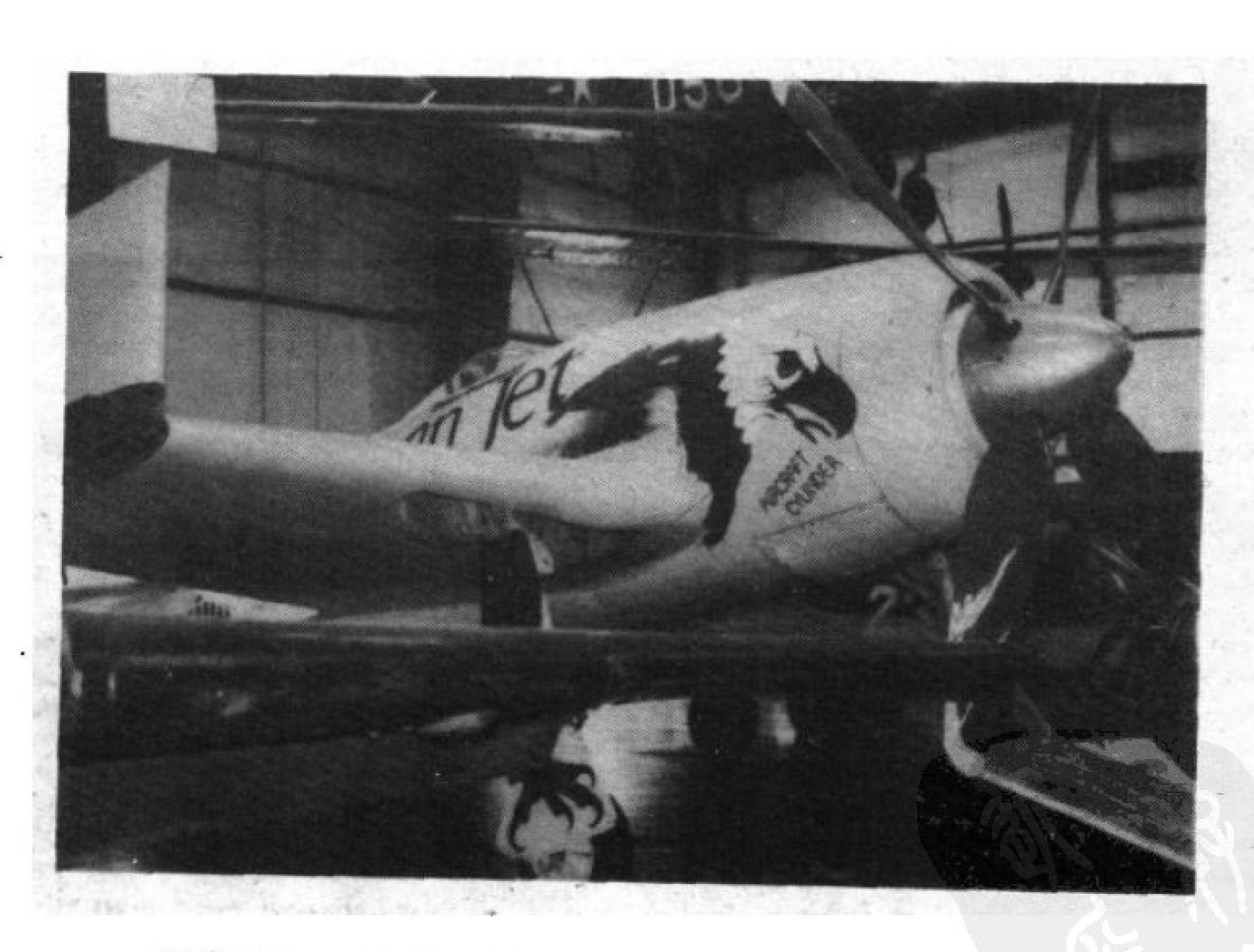
看了当时的汽车杂志刊载的这些事，我轻轻地松了一口气。想起来，倒是由于密凯洛泰闹别扭，使日野自行开发设计出在性能和外形上都满意的产品了。

1980年1月，一手拿着威士忌，一手勾勒康特萨草图的密凯洛泰大师长眠了。怀着对他的杰作的永远的感谢，日野将一束硕大的鲜花奉献在他的灵前。

另外，对康特萨冷却系的设计作出重大贡献的小茂鸟教授也于1981年谢世。我因正在国外出差没有看到讣告，从“机械学会志”上得到这一悲痛的消息，我由衷地为研制名车作出贡献的两位大师祈祷冥福。

基 83 快速飞机

顺便再介绍一个因怄气而获成功例子。1945 年 8 月，停战后在松本市仅存的一架飞机，为陆军试制的基 83 型战斗机。在进驻美军的试飞中，该机飞出了 762km/h 的速度（图 16-3）。当时的世界纪录是由德国的梅萨休密特于 1939 年创造的 754.97km/h。螺旋桨式飞机速度从 1945 年那时起直至 1969 年，时隔 24 年后才由改成竞技用机的格拉曼 F8F 建树了 777.74km/h 的速度（照片 16-6）。因此可以想像，装备不够完善的这架试制战斗机的性能有多么卓越。



照片16-6　以打倒"零式舰上战斗机"为目标的格尔曼 F8F。1969 年 8 月改造成竞技飞机，时隔 30 年刷新了螺旋桨机的速度记录，创下 777.74km/h 的速度（斯密索尼安博物馆）

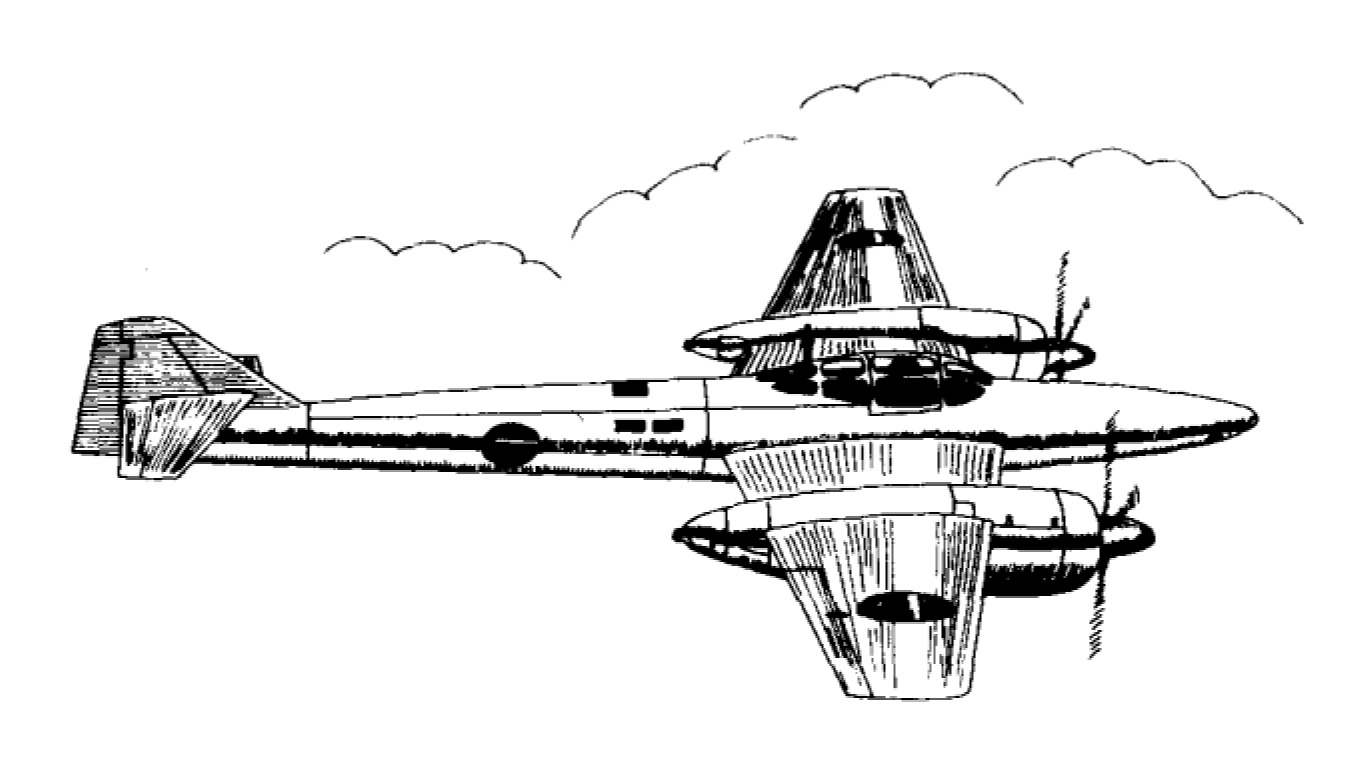


图16-3 日本陆军的试制战斗机基83。1945年8月，由美国兵驾驶，从松本机场起飞的基83，竟飞出了762km/h的速度（当时的世界纪录为755km/h）

在开发该战斗机时，陆军要求的是两人坐机。按照常识能把两名乘员围起来的风挡应该是大型风挡。但是，对长距离飞行的战斗机早已胸有成竹的主任设计师久保富夫（后来成为三菱汽车工业公司的社长）却把另一名乘员关在机腹内了（图16-4）。

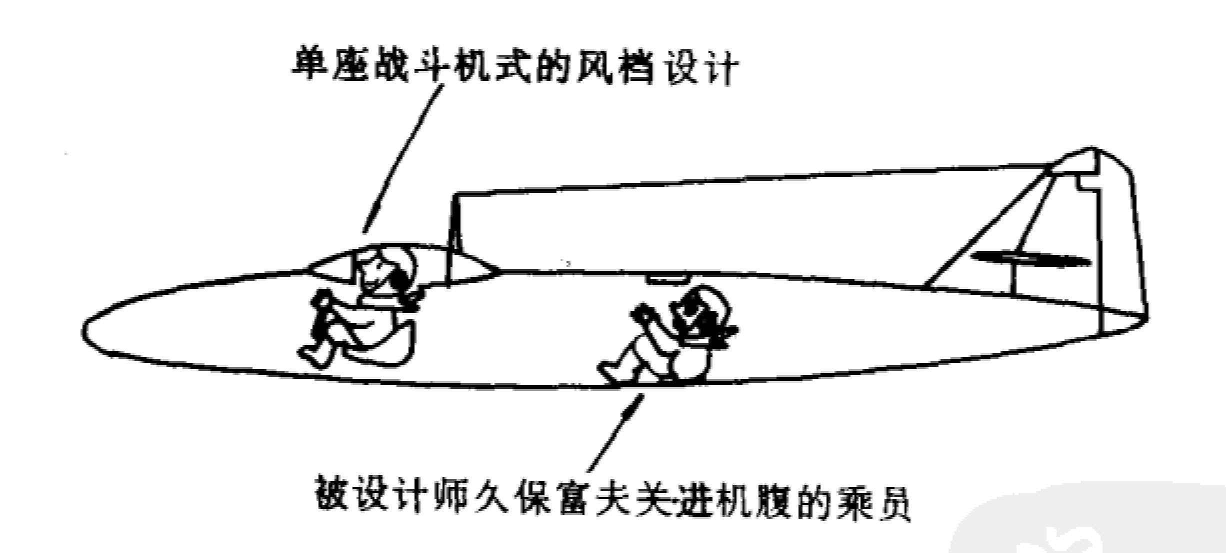
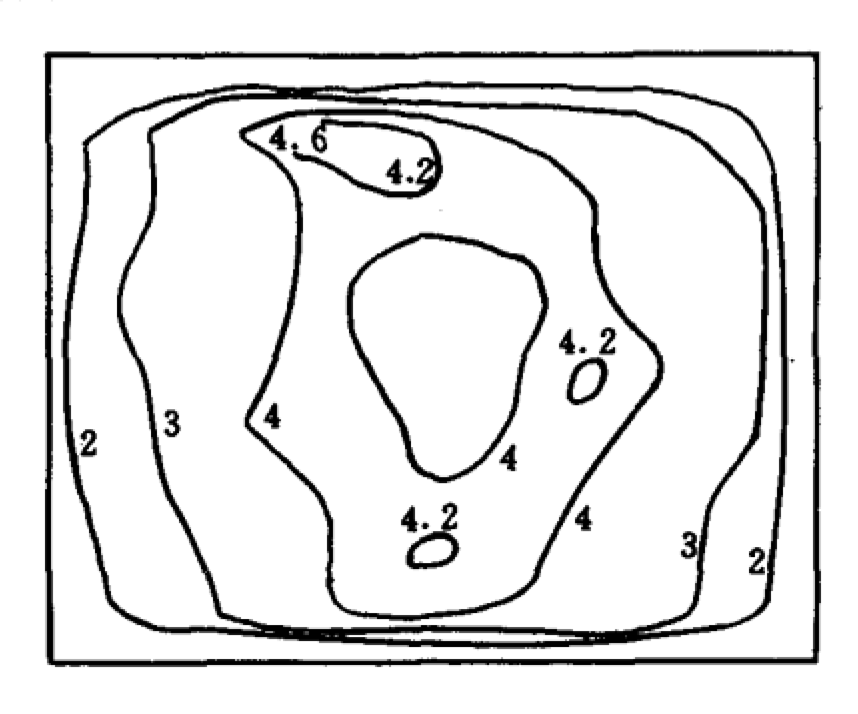


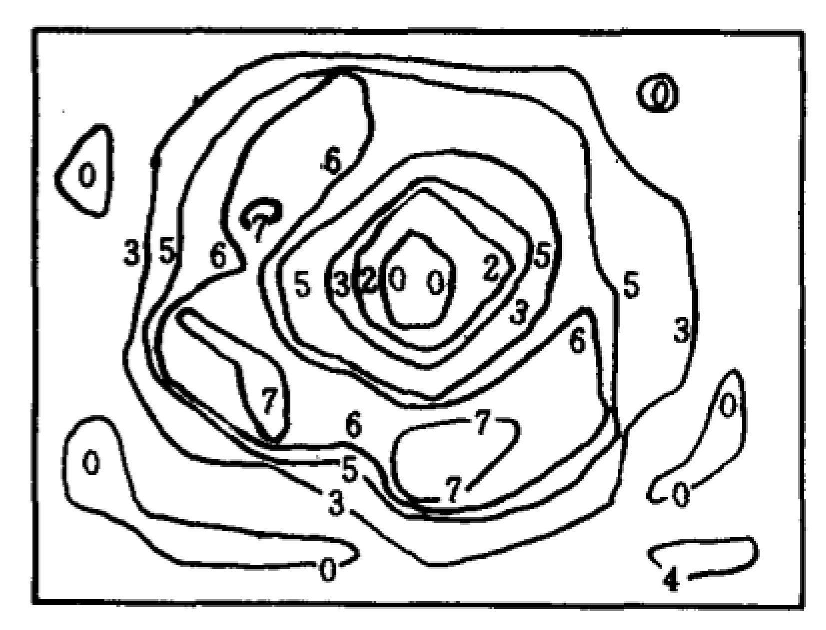
图16-4 由应该是单座概念而诞生的双座机基83。怄气的结果，却使杰出的战机脱颖而出

这可谓是典型的怄气设计。可见，设计师必须有自己的设计眼光。这种设计眼光应该在设计师的心中逐渐酿成，并形成坚定的信念。这种信念滋生出对上级下达的不正确命令的不满，即所谓“怄气”，当它升华为产品时，真正的杰作就诞生了。

附录 A16　康特萨的冷却系

图 A16-1 为庆应大学所作调查的压力送风式与吸风式散热器前面的风速分布比较。从图中可知，吸风式风速均匀得多，因而冷却效率也高。





图A16-1　压风式与吸风式散热器前面的风速分布。

（上）吸风风扇（带标准导板）1930r/min；

（下）压风式风扇（带标准导板）1930r/min

图 A16-2 为发动机停机后发动机舱内温度变化的实测结果。仍然是吸风式的温度上升幅度小。这是因为压力送风的场合，灰尘容易从地板底下侵入发动机舱，因而要尽量把间隙作得小一些，结果受到发动机停机后热空气难以散发等的影响。

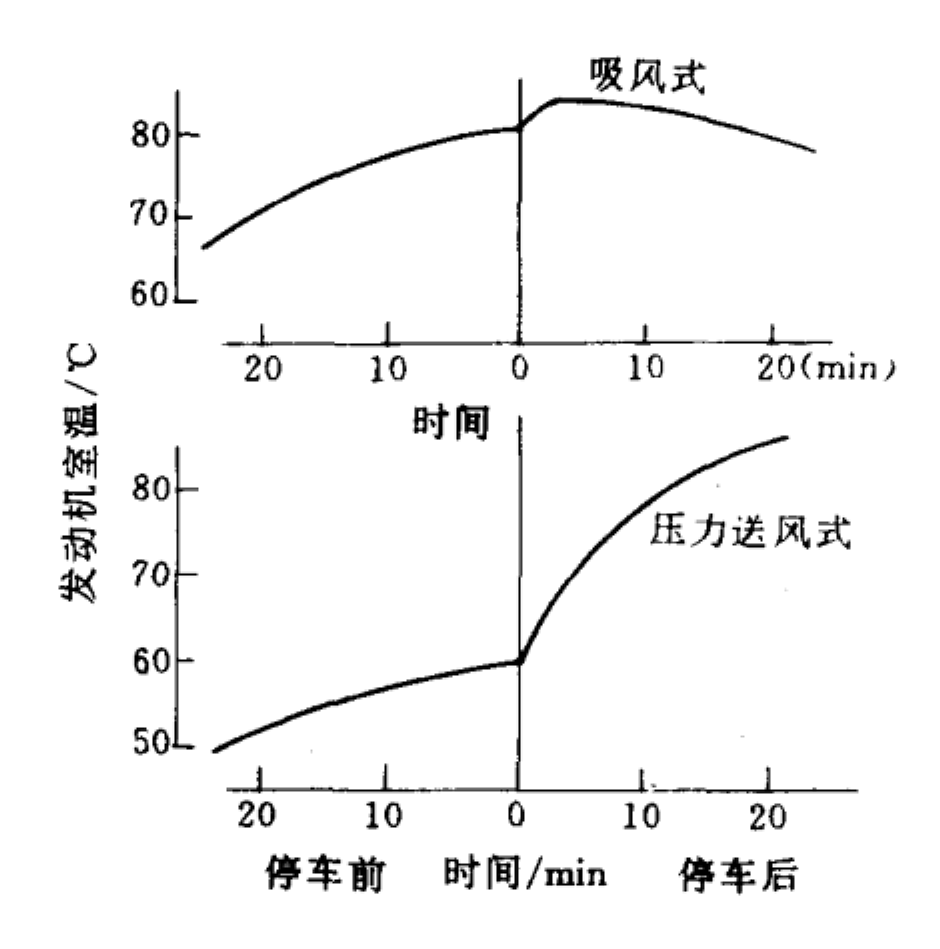
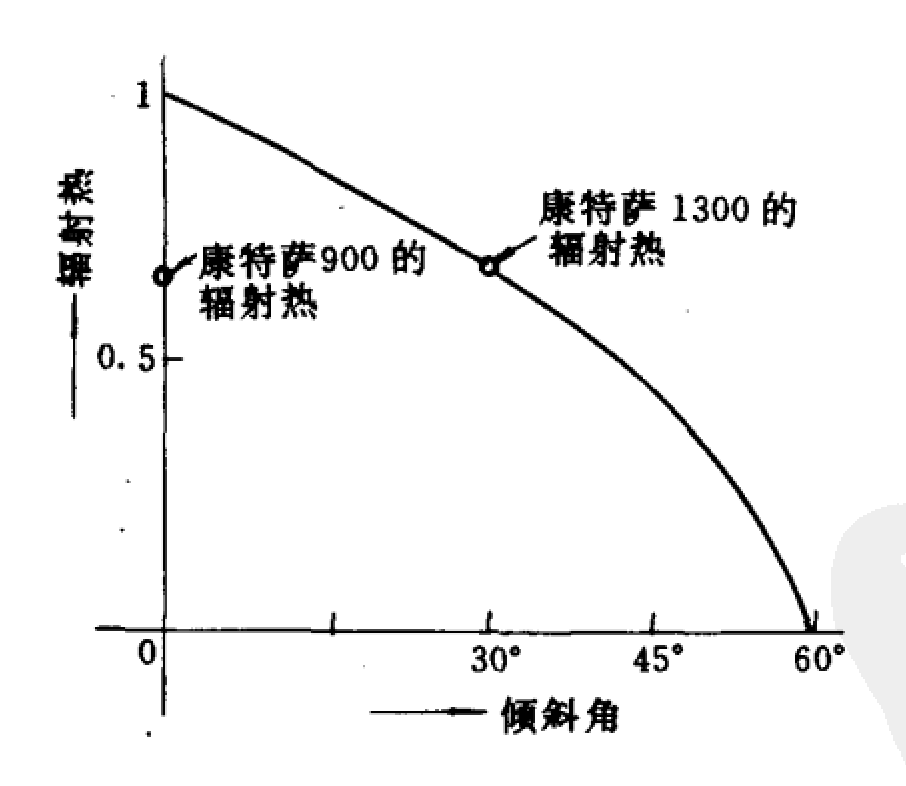


图 A16-2　压力送风式与吸风式的发动机舱内温度

图 A16-3 示出将发动机倾斜，并尽量使排气管在发动机舱内露头小，以减少发动机辐射热的情况。从这一点看，发动机倾斜 30°以上，效果更佳。不过，为便于维修就确定为 30°。



图A16-3　从发动机本体向发动机舱内辐射的热量（以发动机倾斜角为 0°时的幅射热为基准，图中为 1）

17. 任凭发动机舱摆布的命运

周密的计算与信念是成功所必备的条件，务必先树立坚定的基本理念。

水冷后置发动机汽车——塔克

在哈拉博物馆的一个角落里，停放着1948年制造的三只眼（3个前大灯）的塔克汽车（照片17 - 1）。从旁经过的人无不感到



照片17 - 1　三只眼、水冷后置发动机的塔克汽车（1948年）。在当时这种造型是非常漂亮的

这部车别具情趣。这是一辆装有后置水冷发动机，其冷却系的布置与康特萨完全相同。幸亏在忘我的开发康特萨的发动机舱时，根

本不知道它的存在。我说幸亏的意思是，当时我们认为这种车还没有问世呢。

粗略地观看一下其发动机舱（照片 17 - 2），散热器左右相辅，以保证通过散热器的热空气能重新迂迴到散热器前面，同时整齐排列在散热器下面的 6 个排气管的排气也能确保被散热器吸入。从发动机舱导入化油器的空气肯定很快使空气滤清器堵塞。在开发康特萨车时得知：后置发动机舱内空气中的含尘量大约是前置发动机的 6 倍。



照片17 - 2　发动机舱的布置，与康特萨的布置完全相同。不过，这样的确会造成过热（奥托伯尔拉玛博物馆）

作为设计人员应该借鉴前人的经验。但又往往在前例面前不知所措。如果信念不坚定的话，即使面对失败之作，也难有眼力识破其败笔之处。尤其当时美国是汽车先进国，容易先入为主地认为美国所有的设计都是先进的。因此，如果不是杂志等上作过有关塔克车的报导，说不定我们也会因简单模仿而导致失败。

后挡泥板的格栅是虚设的，未开通气孔（照片 17 - 1）。可能是在设计当初曾尝试过从这里吸入空气。散热器为压风式的，但由于散热器的逆流强大，又改为后部吸风式了。尽管如此，似乎还应该考虑得更细致些。

该车仅制作了 50 辆(其中 13 辆是后来在博兰迪亚补制的)就停产了。其停产的真相及其它的技术评价都留下了许多疑点。不过，号称“未来汽车”的雄心壮志，倒值得高看一筹。

事与愿违的超前构思

普雷斯顿·托马斯·塔克（Preston Thomas Tucker）在战时试制了装甲车，并且制造了使用自己专利的鱼雷快艇用炮塔。战争刚一结束，他便满腔热忱地投入新车开发。其概念车先是由战前赛车伙伴米拉设计的，装有带液压阀的排量为 9.6L、功率为 150hp 的水平对置 6 缸发动机，横置于后桥的中心轴上，分别用左右液力变扭器驱动两个后轮。此外，还有与车轮一起动作的挡泥板，扭杆式独立悬挂，称作“独眼巨人”（意大利神话故事中的“独眼巨人”）与转向器联动，随着汽车转向而改变方向的前大灯；嵌在车盖上、带开关部分（无雨水槽）的车门；考虑到撞击安全，用软垫片的前围板；发生事故时能脱落的前风挡玻璃等等，新颖构思，层出不穷。

在初期设计阶段，根据设计师特雷姆利斯等人的意见，大刀阔斧地砍去了未经过生产考验过于超前的构思。尽管如此，还是把米拉最初设计的 5 台发动机装车了。但又因为太复杂、太庞大而不得不放弃了。后来买下了福兰克林汽车工业公司的子公司——气冷发动机公司才搞到了发动机。即，把战时贝尔直升飞机用的 5.5L、水平对置式空冷发动机改造成车用发动机，但因担心空冷不好销售又改为水冷了。其冷却水却采取彻底的密封方式，果断地放弃了布置在桥上的方式。虽然沿袭了 FF（前置发动机前轮驱动）式科德牌名车的变速器，却采用了 RR（后置发动机、后轮

驱动）方式。RR 车的后桥负荷过重，往往成为操纵稳定性方面的致命伤，把重量轻，又有生产经验的空冷发动机，改为沉重的水冷式，这种改动真令人有些迷惑不解。

1946 年圣诞节完成了方案设计合同，1948 年夏便投产了，开发时间只有一年半。生产规模小，而且又增添了许多新奇构思，这种操之过急的做法，果然使人们由于担心产品不成熟而导致股票暴跌，财政破产而使之陷入停产的窘地。实际上，这种过于先进的设计在成本上也不合算。有人说这是竞争对手的阴谋和官僚主义的牺牲品。不过，产品不成熟这一点是不可否认的。长寿命冷却液最近几年才在市面上普及。在这种冷却液尚未开发出来的时代里，采用易于腐蚀的铝制发动机的密封冷却系本身就是蛮干。

给塔克汽车灌波旁威士忌

据说该车后来成为通用公司开发“科尔贝娅”牌的先导。科尔贝娅因前后桥载荷分配失衡，后桥过重，成为有缺陷的车，而引起骚动（照片 17 - 3）。塔克也曾有过高速下操纵稳定性不良的报告。如果塔克车进行了大量生产，其操纵稳定性的问题广为人知的话，恐怕就不会再出现科尔贝娅的悲剧了。

姑且不谈这个问题，有关冷却系统没有过热的纪录。是因为散热器的容量富裕吗？不过，有记录说，在加里福尼亚，一辆提取零件的汽车上却发生了因气阻（发动机室过热，燃油不到发动机里去的事故），发动机熄火的事故。这时，一位机械师灵机一动，想到给它灌点酒，让它恢复生气。于是，灌了 5 瓶波旁威士忌果然好了。这是因为酒精的汽化潜热使化油器冷下来的缘故。记录说是气阻，估计实际上是热渗。如上所述，热渗是后置发动机开发时值得注意的重要项目。

然而，传说塔克的开发因一位有才华的工程师的过劳死而受挫搁浅。这个人名叫吉米·作山，是位日藉威斯康星大学的毕业生。



照片17－3　科尔贝娅（1960年）以其漂亮的造型和独具匠心的发动机舱布置，神采奕奕地崭露头角。但因后轮负荷过大造成操纵稳定性不好等诸多问题，成为缺陷车，在社会上引起骚动

18. 导致第三帝国灭亡的发动机舱

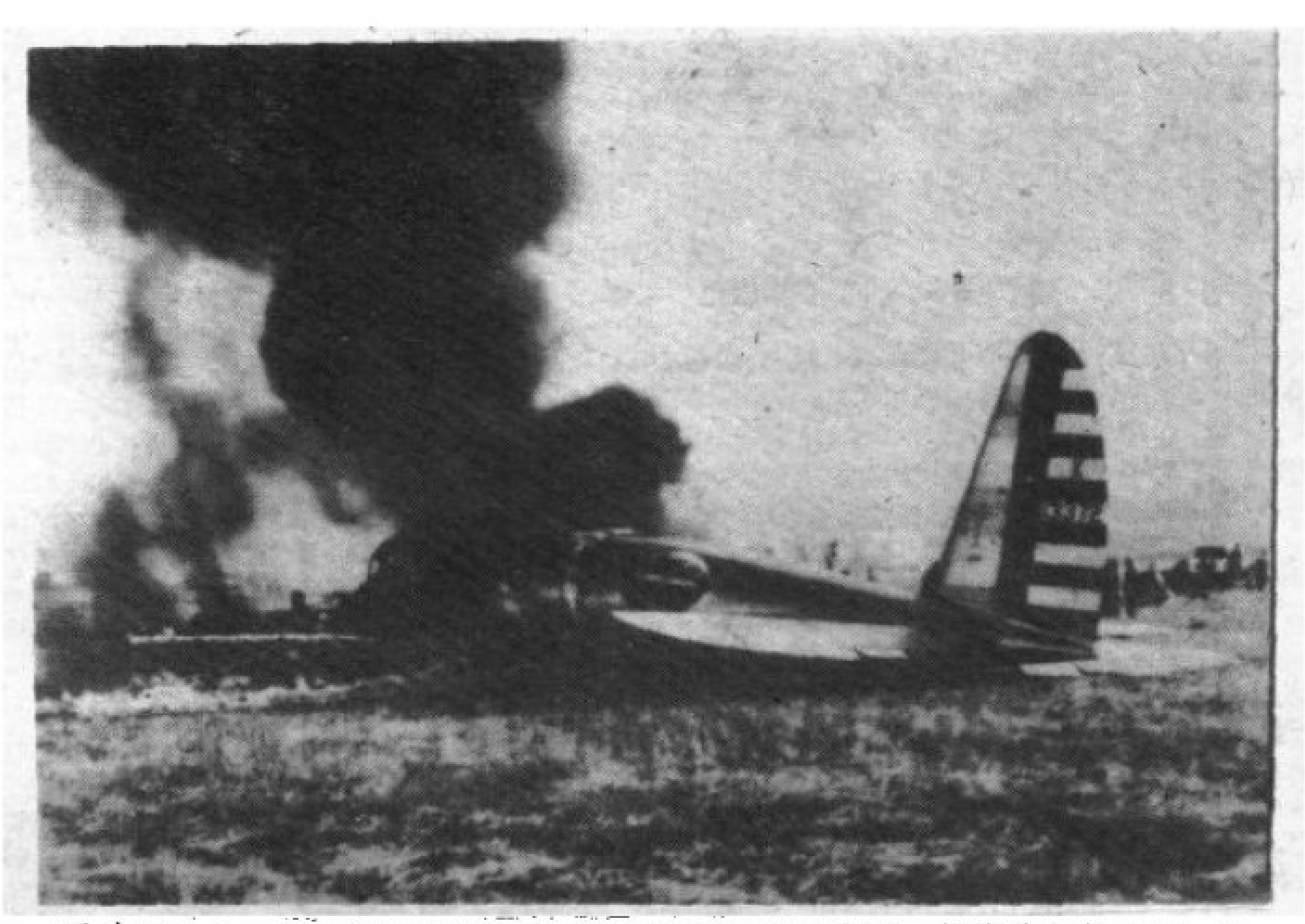
要有信念，但也要灵活。技术管理失败的海因克尔和费希尔。

四发动机战略轰炸机崭露头角

第二次世界大战伊始，美国推出的四发动机战略轰炸机便显示出威力无比。其它国家也都仓惶加速轰炸机的开发。本来这种战略轰炸机是由美国波音公司的技术部门构思的，最初连美国陆军都嫌它太大而冷淡之。在那段时间里，波音公司的的主任工程师埃格特·维特面对试制飞机的坠落而中止的与陆军签署的开发合同以及陆军决定订购其竞争对手——道格拉斯的双发动机轰炸机 B18 等重重困难，勇敢地地接受挑战，排除了因开发费用昂贵而招致的强烈谴责，终于开发成功。真正的技术能够预示未来，但通常又很难得到人们的理解（照片 18 - 1）。

德国在海因克尔的精湛构想下加速了开发。为了使空气阻力最小，将 4 个发动机归拢为 2 个，看上去象双发动机似的。战时的日本航空杂志曾作过报道，说德国诞生了一种新式轰炸机，德国空军终于有可能轰炸美国本土了，如今美国也会受到来自大西洋彼岸的重大威胁了云云。并且，该杂志在没弄明白“形似双发动机的四发动机型”构想的情况下，刊登了螺旋桨前后布置的假想图（18 - 1）。图 18 - 2 就是海因克尔 HE177 怪鸟轰炸机。

发动机如照片 18 - 2 和图 18 - 3 所示，两个倒置 V 型 12 缸组合的结构，在它的前面装配齿轮，采用一根驱动轴；后面是用螺



照片18-1　B17的试制机波音299，飞完了从西雅图—莱特菲尔德2100mile的航程。正当踌躇满志之际，1935年10月30日坠毁，著名的试航员雷斯·达瓦死亡，与陆军签订的开发计划流产。(波音博物馆)

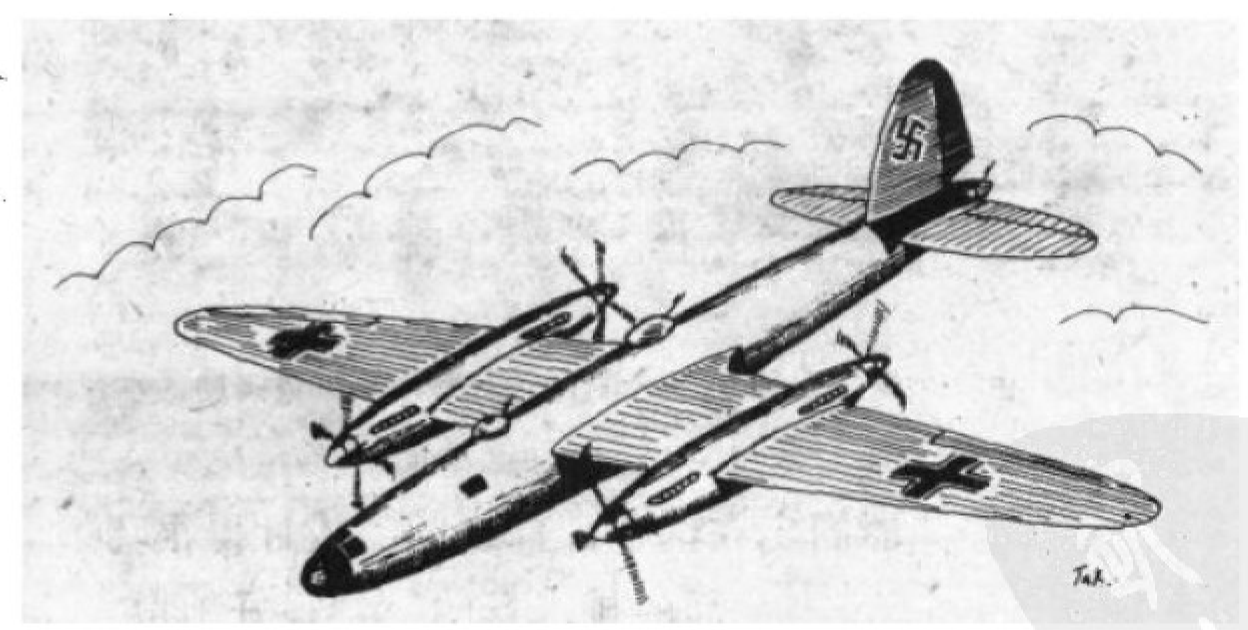


图18-1　日本航空杂志刊登的海因格尔·怪鸟轰炸机假想图。被视为流体力学精淇之作的双发动机实际上是四发动机，如果这样设计，发动机舱的故障大概就能避免了吧!

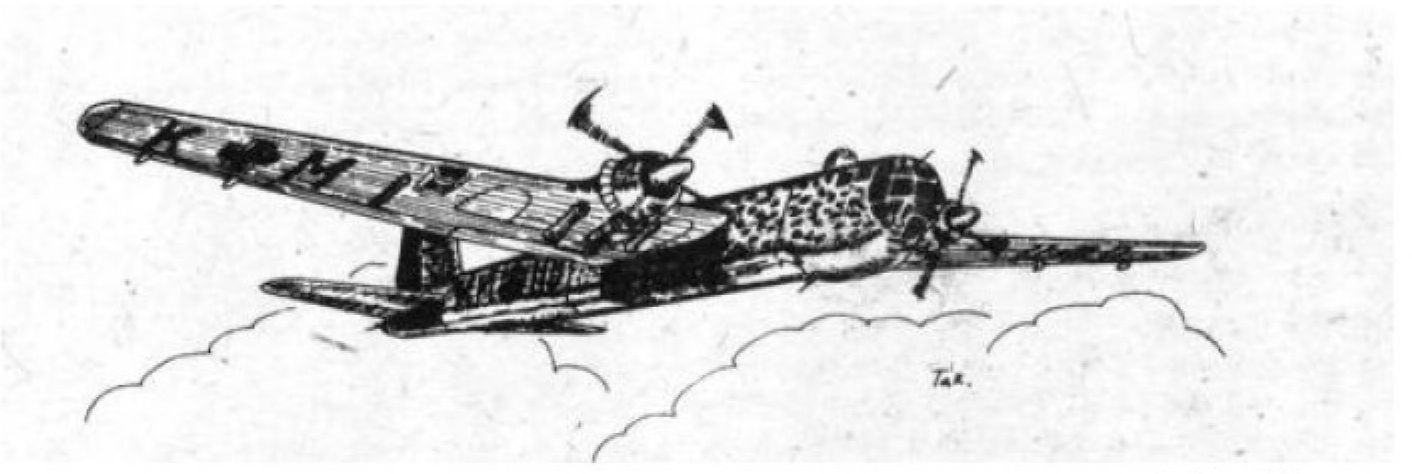


图18－2　海因克尔·怪鸟轰炸机。实际的怪鸟装有2台把2个倒置的V12气缸结合起来的24缸发动机。这个发动机舱导致了它的灭亡

照片18－2　由2个倒立V12缸组合的怪鸟双发动机。戴姆勒·本茨DB610型、71.4L、2980hp/2800r·min^{-1}（本茨博物馆）

栓把一个大橡胶缓冲器固定在两个部件之间，设计得很巧妙（照片18－2）。为使挟在V型之间的排气管的热量很好地散发出去，发动机舱的设计过于复杂（图18－3）。从首次飞行起，就不断发生发动机的着火事故，却想不出对策来，由于战局紧迫便硬行投产了，共制造了1146架。

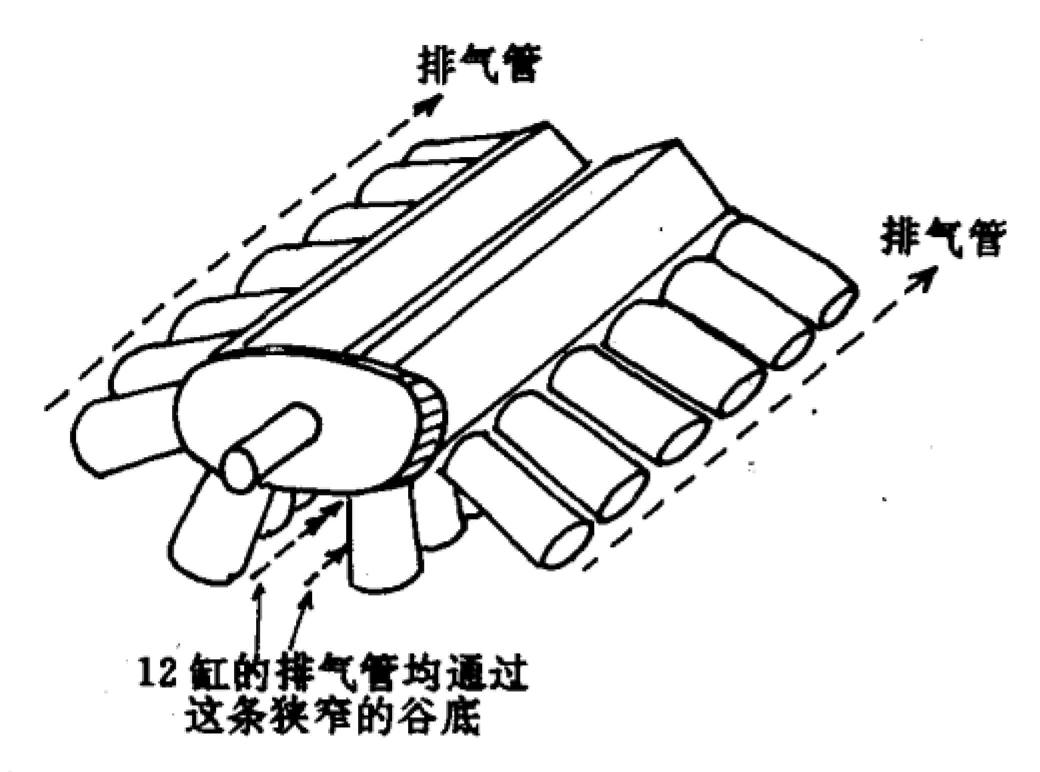


图18－3　用于海因克尔·怪鸟轰炸机上的倒立 V12×2＝24 缸发动机的型式

但是，该发动机舱重蹈了普雷里欧单翼机的覆辙，阻碍了飞机穿越多佛尔海峡。据记载，1944 年 2 月 13 日，13 架怪鸟出击轰炸英国本土。其中 8 架因过热而返航，抵达英国的 4 架当中，有 1 架被击落。剩下的 3 架把炸弹丢在海里逃回来了。过热那么可怖，哪还顾得上轰炸呢?!

1969 年 12 月，我访问了 KHO 公司。我见到了罗根道尔夫。他在大战时就在本茨的工厂里工作，自始至终地参加了从怪鸟的发动机基本型——DB600 型到双发动机 DB610 型的开发。工作之余，我们在积雪的莱茵河畔的餐馆里，详细地谈论了那台本茨发动机的开发经纬（照片 18－3）。他作了如下的说明：

那台发动机的过热可以说完全是因为发动机舱的通风不良造成的。要解决通风问题，扩大前面的开口面积就可以了。但是这样办，空气阻力增加，怪鸟原来的设计目的就完全丧失了。过热问题还没等解决，悲剧便发生了。

听说海因克尔为此事，曾向空军部门提出改为通常的 4 发型的建议，未被采纳。不过，在 1941 年已经作了将双发型的怪鸟改为 4 发型的轰炸机计划。但是具体的设计交给德国占领下的法国



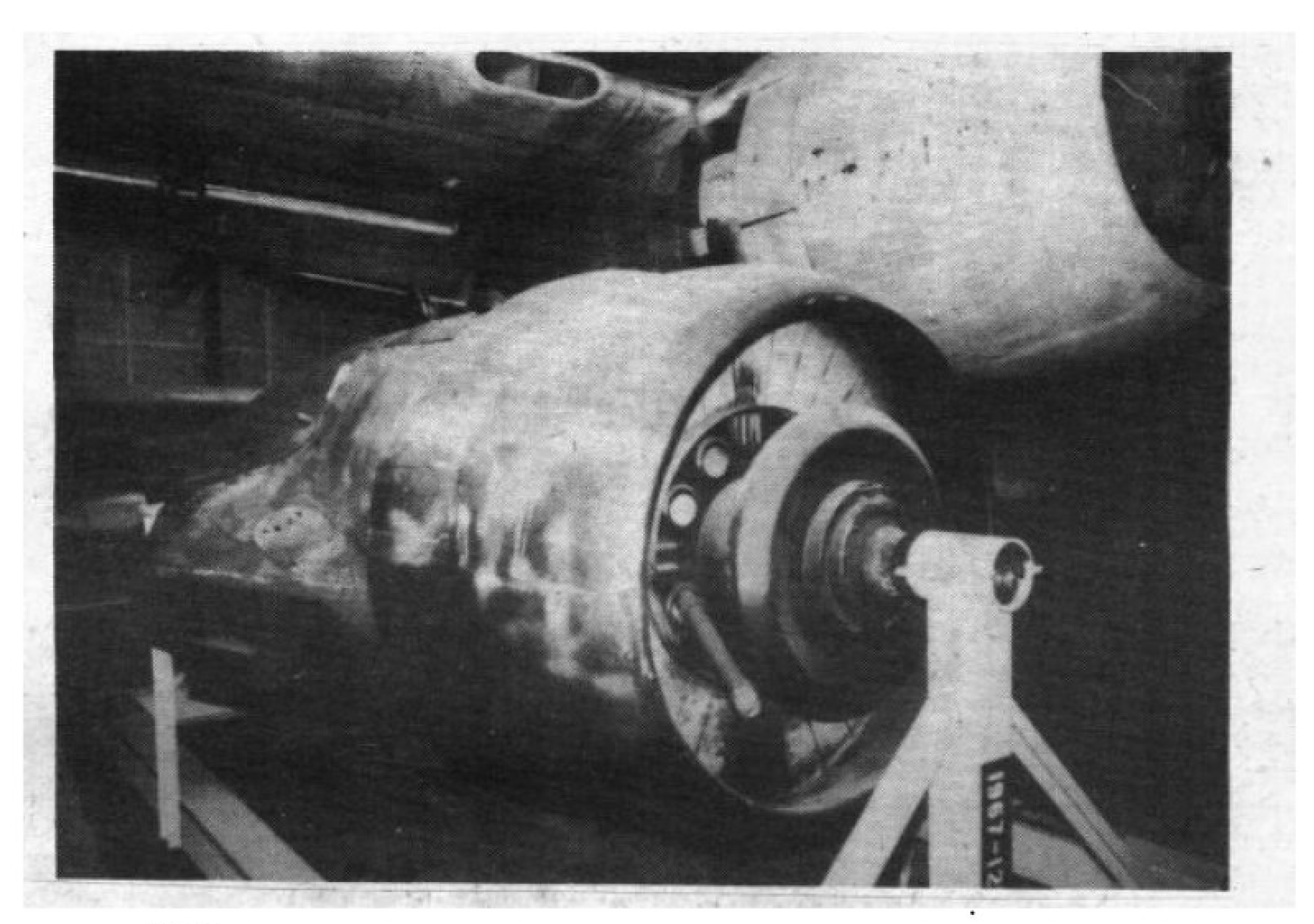


照片18－3 与罗根道尔夫会谈。在积雪的莱茵河畔，谈论了已经过去了的发动机的悲剧。前排右端为罗根道尔夫，他身后为笔者

法尔曼航空公司，由于法国人怠慢工作，开发工作大大滞后，以

致于首次飞行弄到战后，由联合国军进行的。

设计需要冒险。设计方面对冒险失败时的准备及开发顺序本身，必须从一开始就要作到心中有数，纳入经营方针。像德国人



照片18－4　使第三帝国毁灭的发动机舱紧凑而华丽（海因克尔HE177用戴姆勒DB610、2980hp用V12×2，24缸机用发动机舱，斯密索尼安博物馆）

那样，仓惶地委托敌对国家公司的做法，应承担失败的一部分责任。这不是技术的失败，而是技术经营的失策。

使第三帝国毁灭的发动机舱如今静静地躺在斯密索尼亚博物馆。那个姿态真想不到竟然能容纳了V12×2的巨大发动机，紧凑而华丽（照片18－4）。

日美试制飞机的教训

然而，在大战中，日本海军也曾计划制造装有这种双发动机的飞机，即高速侦察机“景云”号。发动机采用由爱知航空公司

引进本茨的产品，国产化的哈—70—10型，期待通过降低空气阻力速度达到720km/h以上。但是在首次飞行时，因发动机舱着火，紧急着陆而使计划破产。这是因为过于相信久负盛名的海因克尔的设计思想，对发动机舱的研究不够深透的结局。

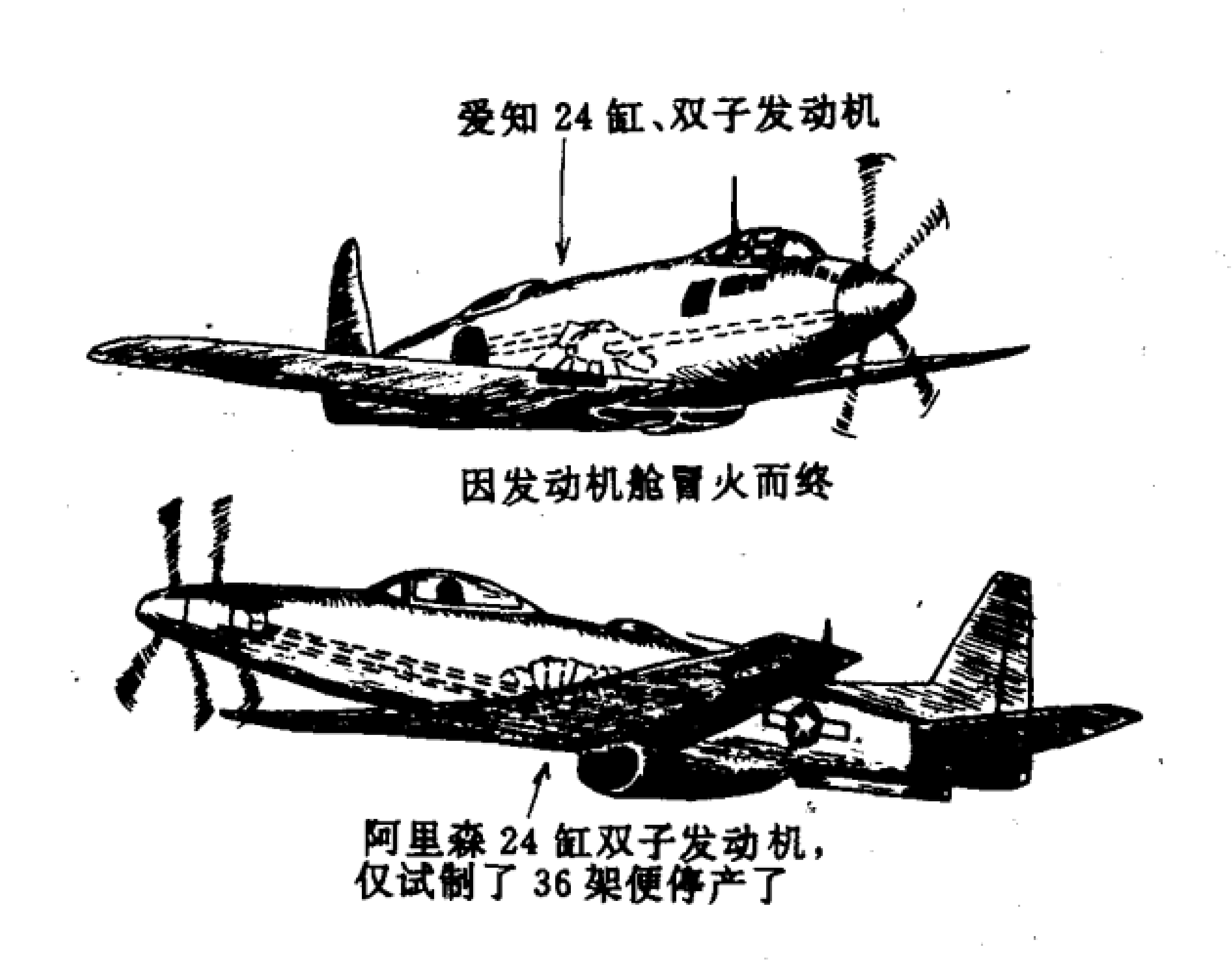
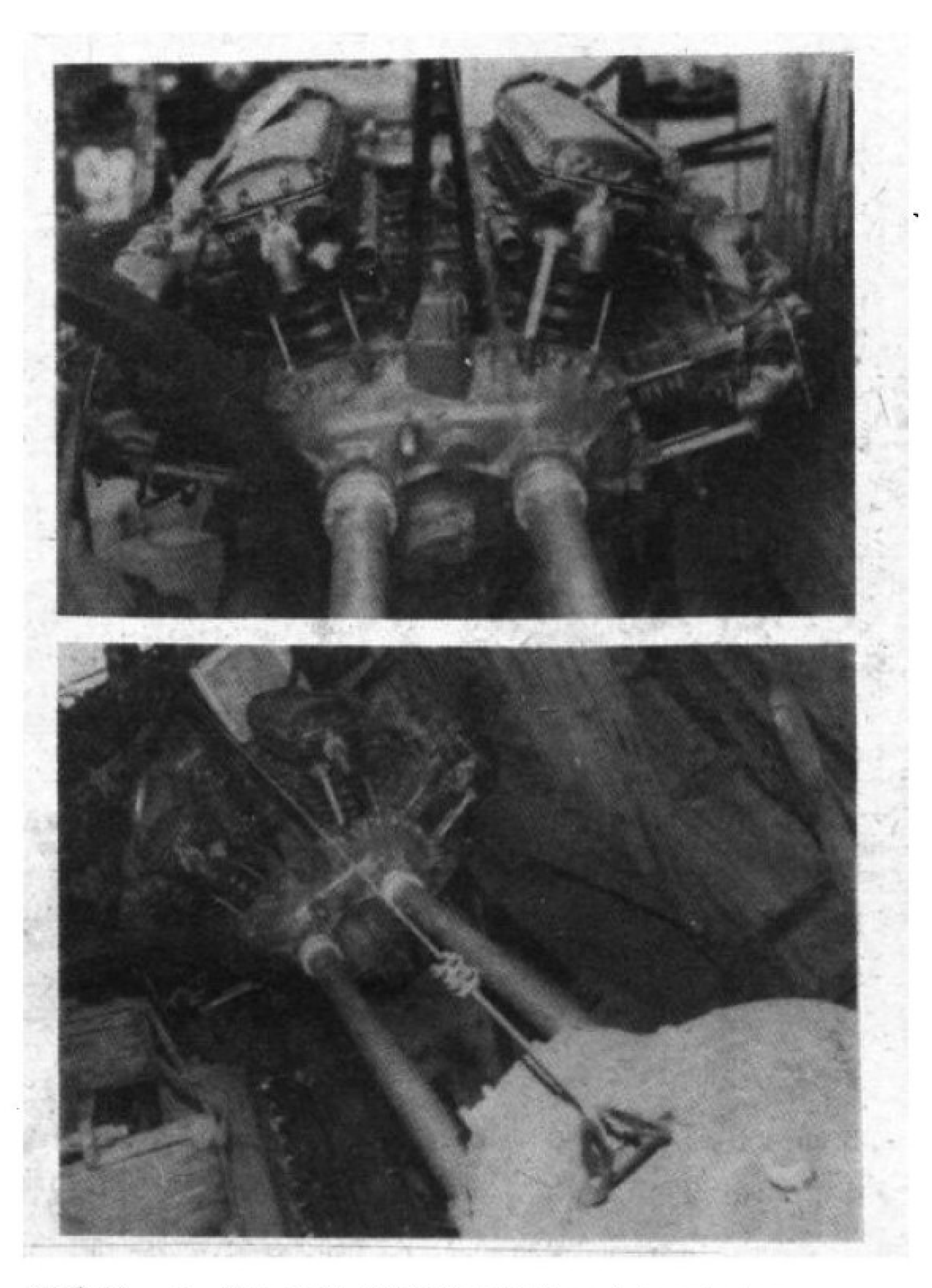


图18-4　发动机舱的冷却是总体设计的基本问题。(上)日本海军·景云号飞机；(下)美国陆军P75型飞机

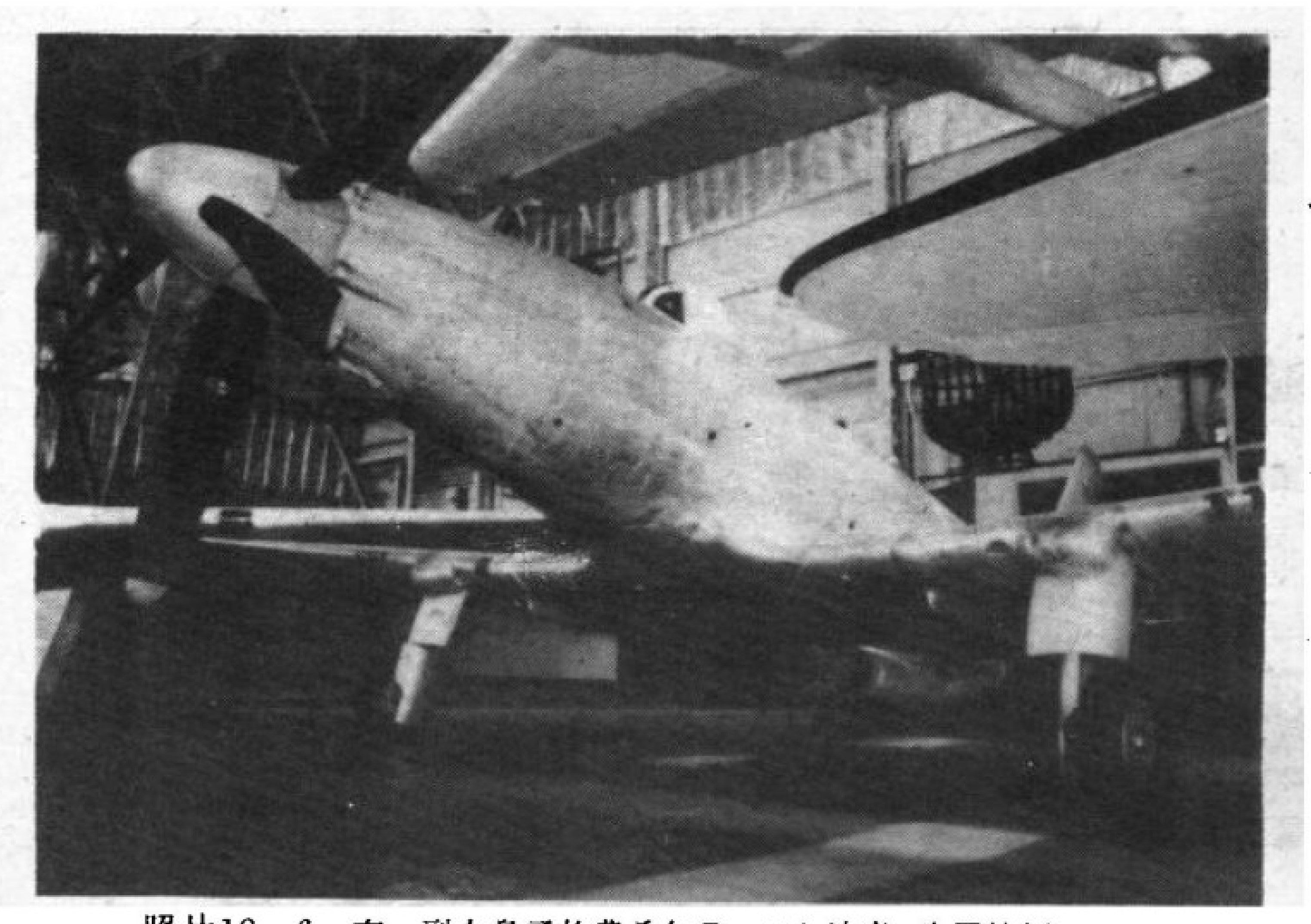
有趣的是，当时美国也以完全类似的构想制作了试制飞机。发动机为两个V12缸的双发动机阿里森V3420型，2600hp，使人联想起非洲象巨大牙齿的2根延长轴，它的前端装有整流螺旋浆(2个反向转动螺旋浆)(照片18-4)。据记载，装有该双发动机的是在战争开始以后，由匆忙转向航空机生产的通用汽车厂制的P75型战斗机，不过只制作了6架就不干了。这个发动机舱没有着火吗？

有关发动机舱的记载不够准确，不过现存的唯一一架费希尔P75A波音的机形是很漂亮的(照片18-6)。但是，1942年即二战爆发不久，接到十万火急开发XP75的指示。为了缩短开发时间，受命使用已经完成的P40的机翼、A24的机尾和F4V的起落



照片18 - 5　使人联想到非洲象牙似的巨大的延长轴的阿里逊 3420，24 缸，双发动机，2600hp，被塞进了布雷德利博物馆的仓库里

架等部件。想法虽好，不过要想成功，更应该重视基本概念。应明确实现目标应具备的条件，首先要确定概念。进行概念机设计时当然要有几个方案，至于能否利用已开发的部件，应该留到以后考虑，利用拙劣产品 P40 的主机翼等问题应不在讨论范围之内。P75A 虽然在认识到错误后又重新进行了设计，但是由于心绪不宁而没有恢复常态。因此，在漂亮的整流螺旋桨的机头上，仍可见贫瘠的技术管理之一斑。



照片18－6　有一副大鼻子的费希尔 P－75A 波音。为了缩短开发周期，用现成件进行组合的，把零部件拼凑在一起是一种乌合之众的精神。(U.S. 空军博物馆)

日本中岛飞机制造公司制造的彩云号与 P75 型一样，是在太平洋战争开始后着手开发的，旨在侦察高速隐密的舰载飞机。在战争末期，彩云号在马利亚纳一带侦察时被美军发现，当时发来的“无敌机能追上我”的电文，给穷途末路的军方一个狂喜。因此，尽管“彩云”是一种侦察机，但军方竟然下令制造 500 架。战后由美军进行了试验，该机的飞行速度高达 695km/h，可见其性能有多么卓越。

如图 18－5 所示，从其极细的机体和大直径的螺旋桨展现出该机的高性能。但关键还是得益于主翼的设计。设计师之一的内藤子生先生将在美国 NACA（国家航空研究所）实验的 300 多种翼形特性值作为参数（变数），统计性地研究了机翼形状，在此基础上设计采用了新的层流翼形（阻力小的高速机用翼机）。因为中

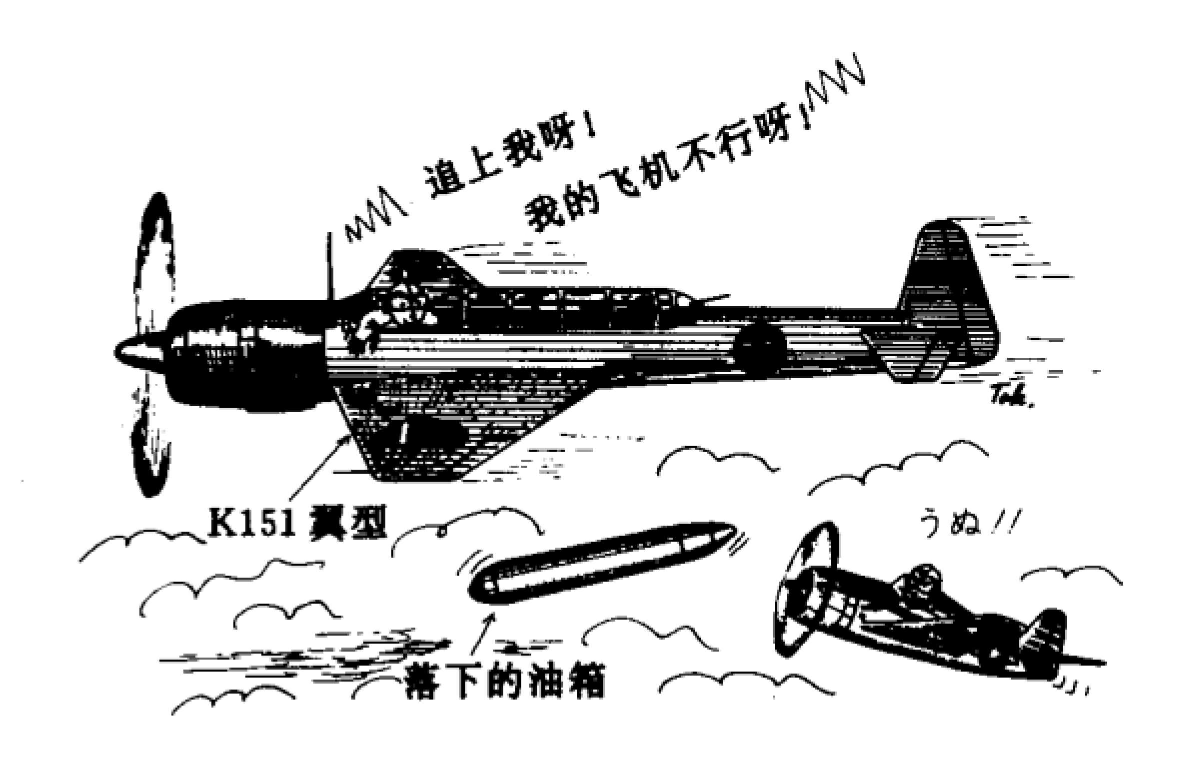


图18－5　锲而不舍地研究，终于研制出性能卓越的翼形，使敌方无法接近

岛飞机公司不能作实机新翼形在高速条件下的实验，据说其高压风洞实验是在海军航空技术厂进行的。彩云号开发情况是这样的：1942年7月其大致计划获军方认可，9月开始出设计图，12月完成90%，1943年5月15日首次飞行。

经常观察技术动向，收集情报，有理想有目标地不断进取，只有这样才能在有紧急开发任务时大显身手。与因开发任务紧迫，沿用30年代P40型翼形的P75型战斗机作一下对比，技术人员是应该铭记这一历史教训的。

19. 救国的发动机舱

迅速转向，挽回技术失败的阿弗拉。技术管理应把可能发生的小失误考虑进去。

兰开斯特轰炸机的开发

在地处伦敦北端的亨登航空博物馆的最里面，标有“轰炸 170



照片19－1　在双发动机型的曼丘斯特轰炸机出击后的第 3 天，这架四发动机型兰开斯特轰炸机便进行了试飞。设计师就作好了双发型的冒险准备。但双发型飞机因未能解决发动机故障，因而制造了 159 架便被迫停产（亨登空军博物馆）

次”标记的阿弗拉·兰开斯特（Avro Lancaster）轰炸机，仿佛以

自豪的姿态时刻准备着出击（照片 19 - 1）。这种飞机当年有很多叱咤风云的业绩：英国投在德国的三分之二的炸弹是该种轰炸机运载的；运载当时世界上重量最大的 10 吨炸弹（当时日本的重型轰炸机的总承载量最大是 1 吨）的这种飞机，以 18m 的超低空飞行进行轰炸，有力地击中目标等活跃的话题不胜枚举。

然而，其开发的经历与海因克尔·怪鸟雷同。即，计划把两台罗尔斯·罗依斯 V12 缸发动机组合成 x 形发动机的双发动机型。开发工作由罗伊·查德威克领导的设计小组担任。开发的紧迫程度也和怪鸟一样，在最初的原型试飞之前，生产线刚准备好，装有这种新型的 x24 缸发动机（称作为罗尔斯·罗依斯·沃尔查发动机）的双发动机型飞机即被订购一空。但由于在使用中连杆轴承的故障特别多（大概是烧蚀），结构太复杂、维修性差等发动机故障，而不断发生执行轰炸任务的飞机中途返航或失踪的事件（照片 19 - 2）。

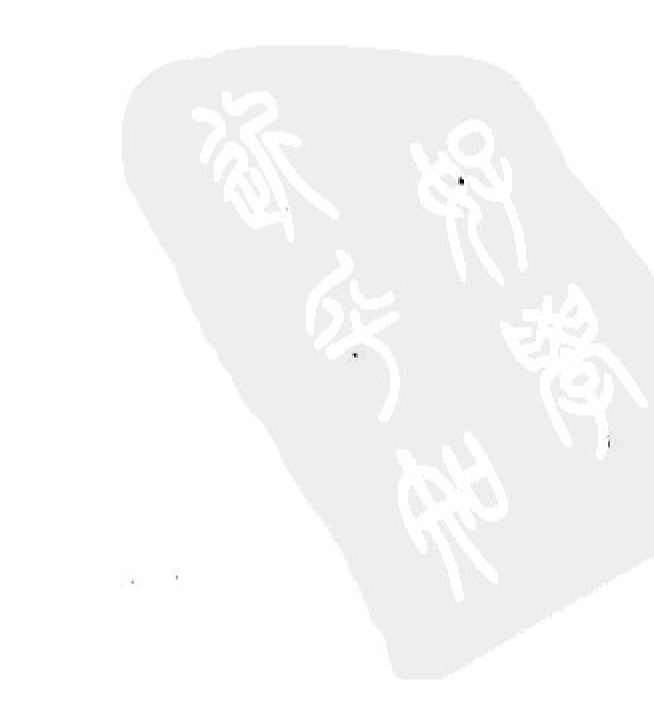
查德威克的奇才

1941 年 2 月 24 日，双发动机型的曼丘斯达轰炸机于进攻普雷斯特时首次亮相。三天后的 27 日，装有 4 台普通 V 型 12 缸罗尔斯·罗依斯发动机的改进型飞机进行了首次飞行。显然，查德威克在最初就信心十足地作好了冒险准备。更令人刮目相看的是，查德威克双管齐下地制订了轰炸机和运输机同时开发的计划。这种运输机被称作阿波罗·约克。它十分活跃地完成了运送士兵和武器的任务。在因战争需要运输而把许多轰炸机匆忙改成运输机的战时情况下，唯有阿波罗公司从容不迫地从同一条生产线上下线了轰炸机和运输机。就这样，双发动机型的曼丘斯特机型仅生产了 159 架就被迫停产，而同一条生产线生产的四发动机型兰开斯特轰炸机却源源不断地送往前线。

如今，兰开斯特轰炸机骄傲地停放于博物馆深处。作为它的设计师——查德威克，以其在哲学、技术、经营以及说服人们接

受其观点的不屈不挠精神，令人折服。

照片19－2　曼丘斯特双发动机型轰炸机。因罗尔斯·罗依斯·沃尔查 x24 缸发动机的故障，而使轰炸机失踪事件不断发生



20. 红颜薄命的双子机、四子机

人要经历反复失败的。

美极了，布干泰！

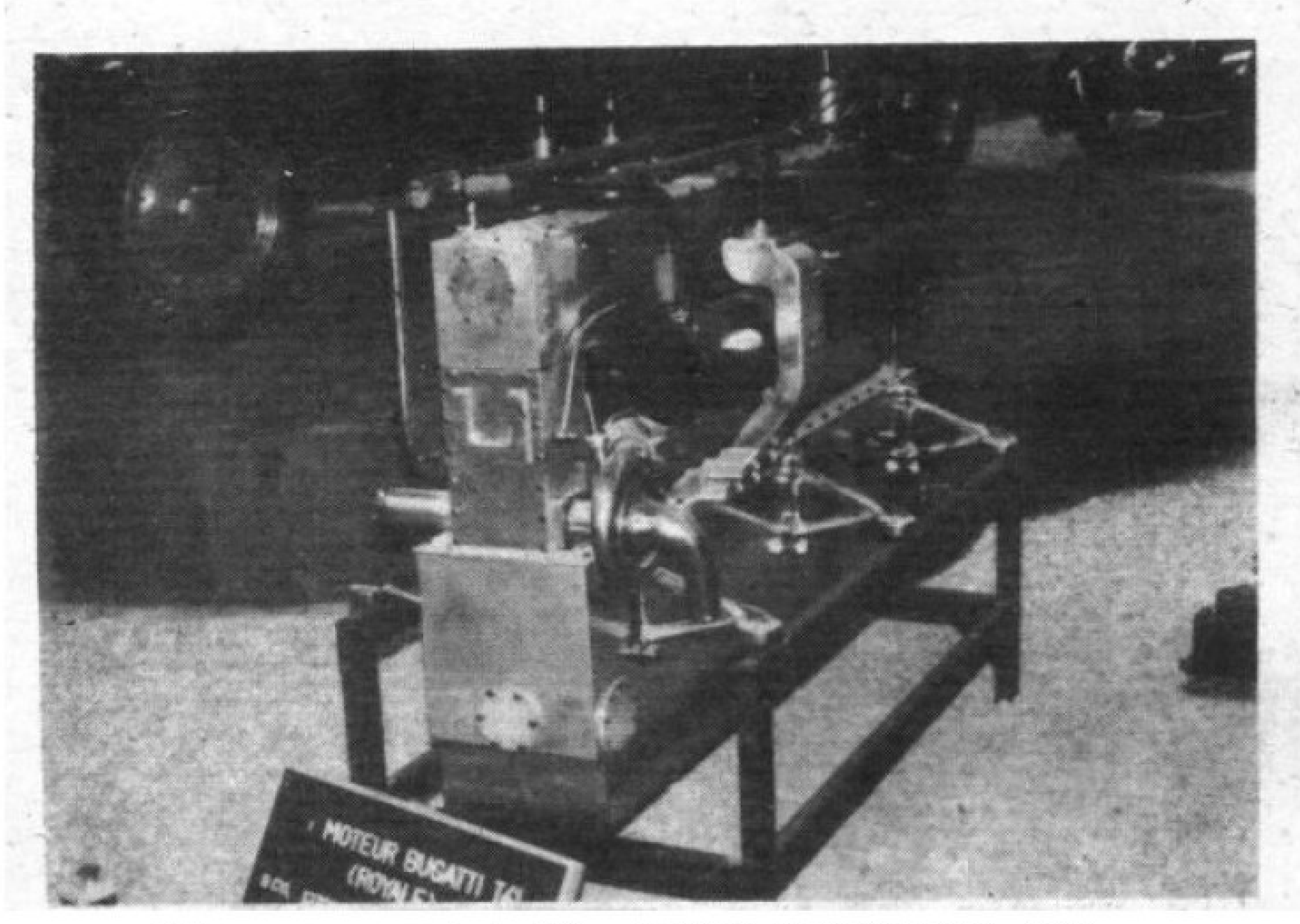
当时，世界上最美丽的汽车恐怕非布干泰汽车莫属了。独具匠心的马蹄形前脸，据说是由于设计师喜欢马的缘故。布干泰车



照片 20 - 1　布干泰车系列中最美的 1937 年型大西洋牌轿车（哈拉博物馆）

的型谱延续了两代，日臻完善的美，具有使人感觉不到断层的连贯性。尤其是 1937 年发表的大西洋牌轿车（厢式双门单排座小轿车）是第二代作品，其外形的完美令人赞叹！照片 20 — 1。

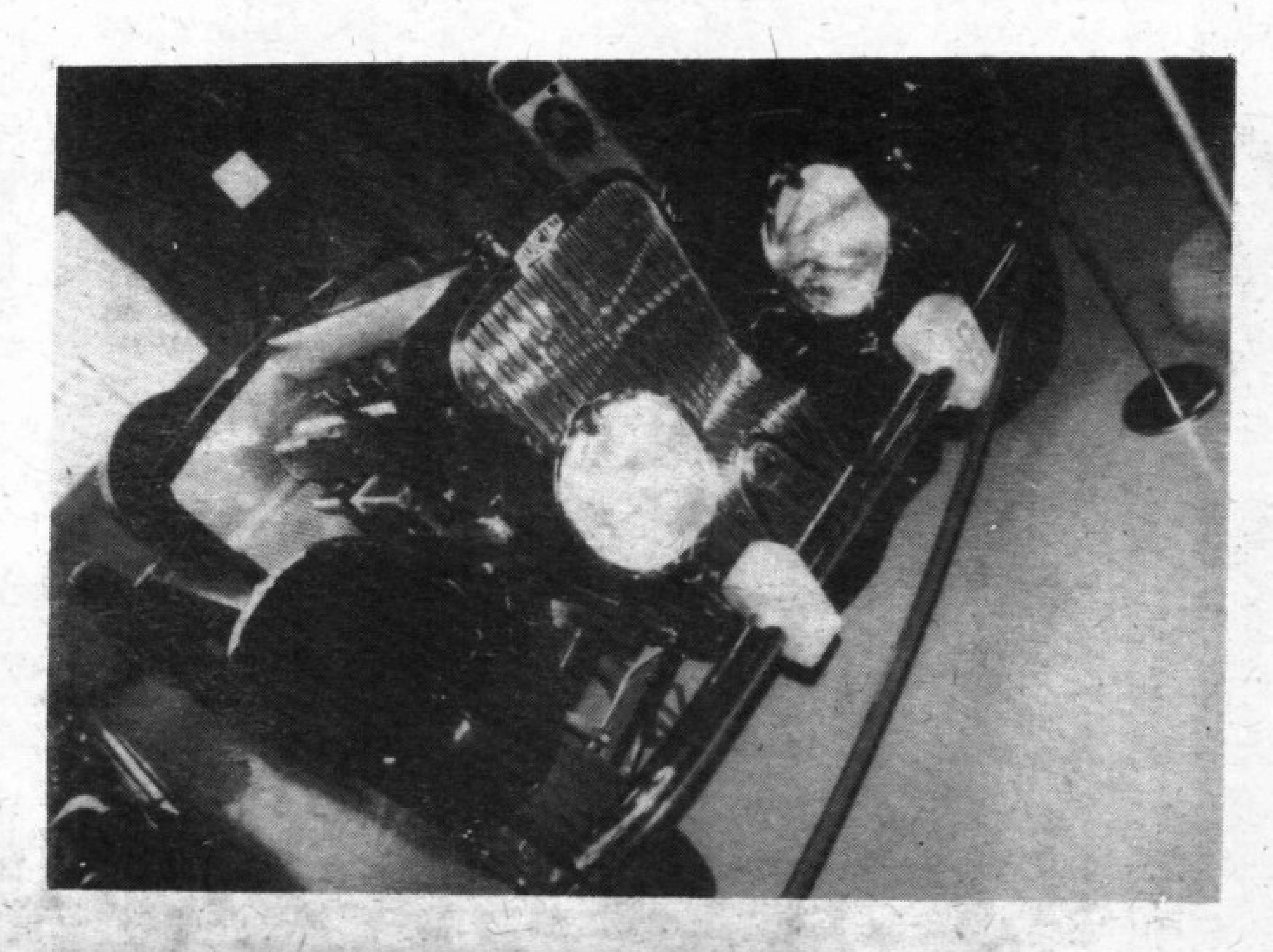
布干泰汽车不仅外形华美，其作为输出大马力的发动机也像

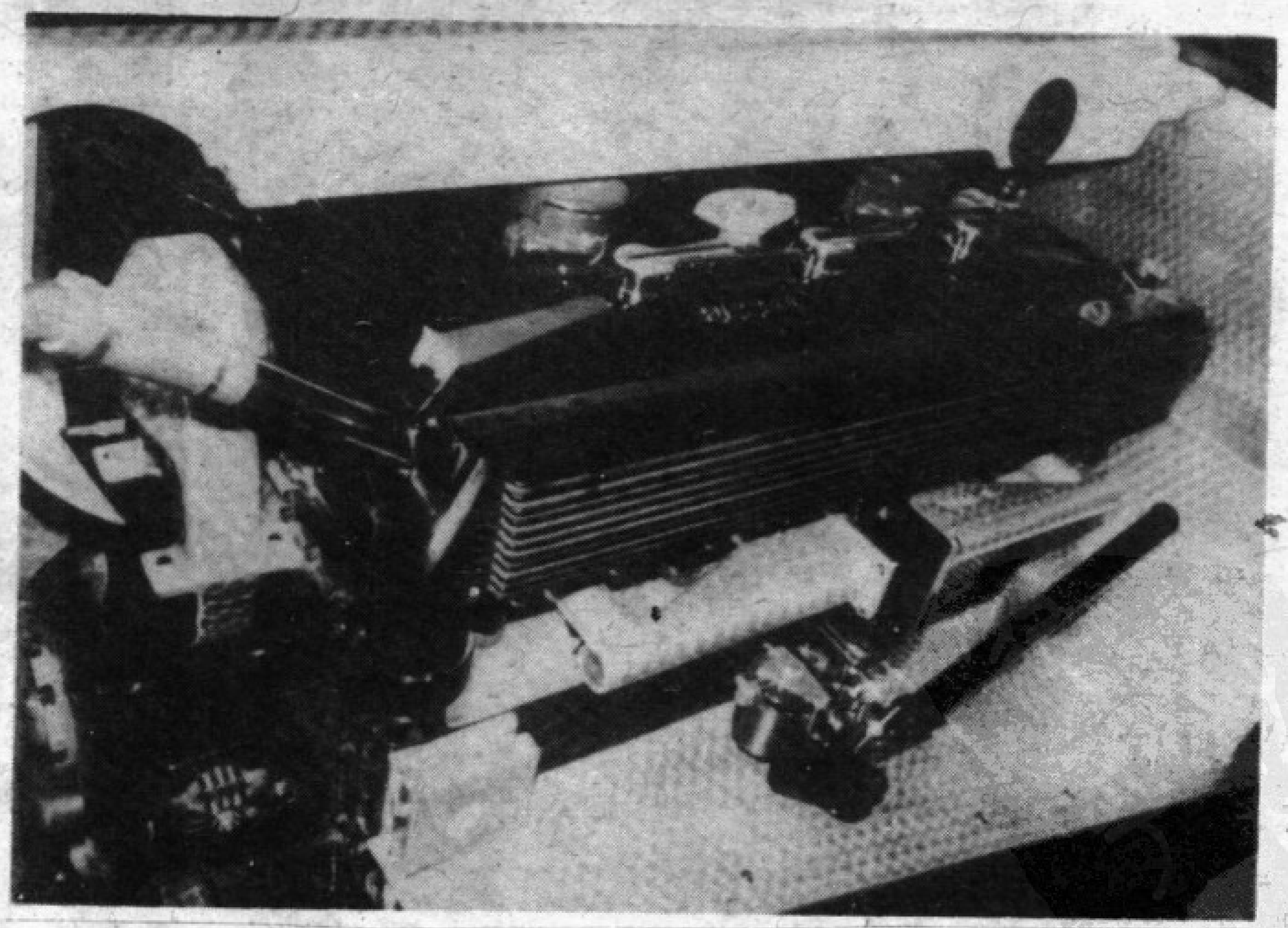


照片20－2　1930年布干泰·露维耶尔汽车的发动机。8缸、12.7L、3阀式、250hp/1700r·min^{-1}（施伦堡博物馆）

艺术品一样考究得难以令人置信。作为技术人员应该学习并具备这种美感（照片20－2）。布干泰汽车的底盘也象艺术品一样，每块覆盖件都闪烁着鳞状的光泽。

布什查利牌轿车是在1930年面世的。虽然不知道它是由谁设计的，但估计它是布干泰的崇拜者的作品。该车所有的覆盖件都和布干泰汽车一样闪闪发光。该车的发动机是由两行直立8缸机并列组成的双子机（照片20－3）。也就是说，这种双子16缸发动机始于布干泰。

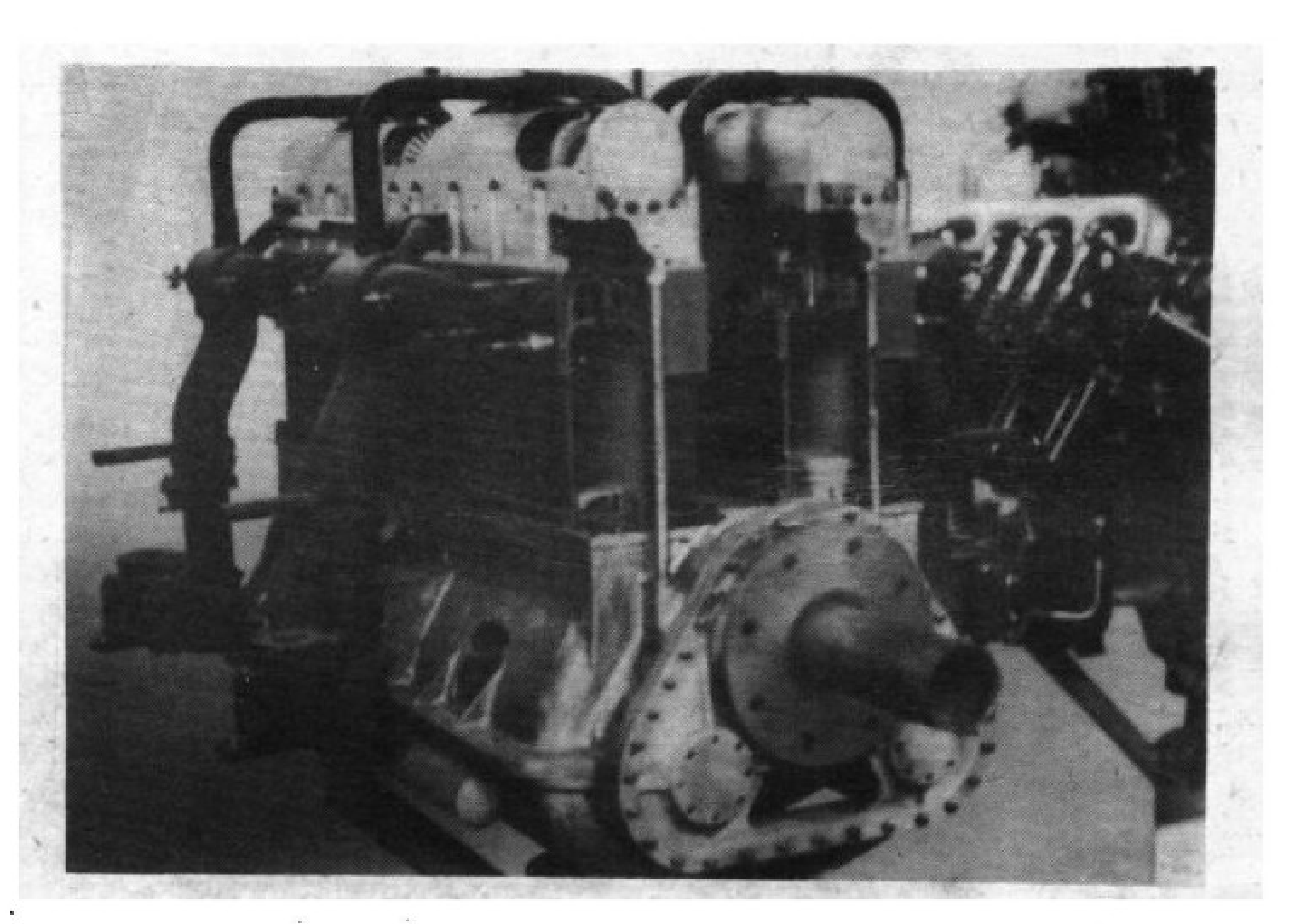




照片20－3　布什查利1930年型。8缸×2＝16缸双子发动机
所有的板金件都闪烁着鳞片形的光泽（哈拉博物馆）

平行8缸双发动机的开发

一次大战期间的1915年，法国陆军委托布干泰开发与墨谢台斯抗衡的水冷发动机，布干泰虽然是意大利国藉，但是作为同盟国公民移居巴黎。他设计了直列8缸发动机。并且，在完成8缸机后，又制造了把它改为双子形、平行地连接两个发动机，靠齿轮将两根曲轴连接起来输出功率的16缸发动机（照片20-4）。

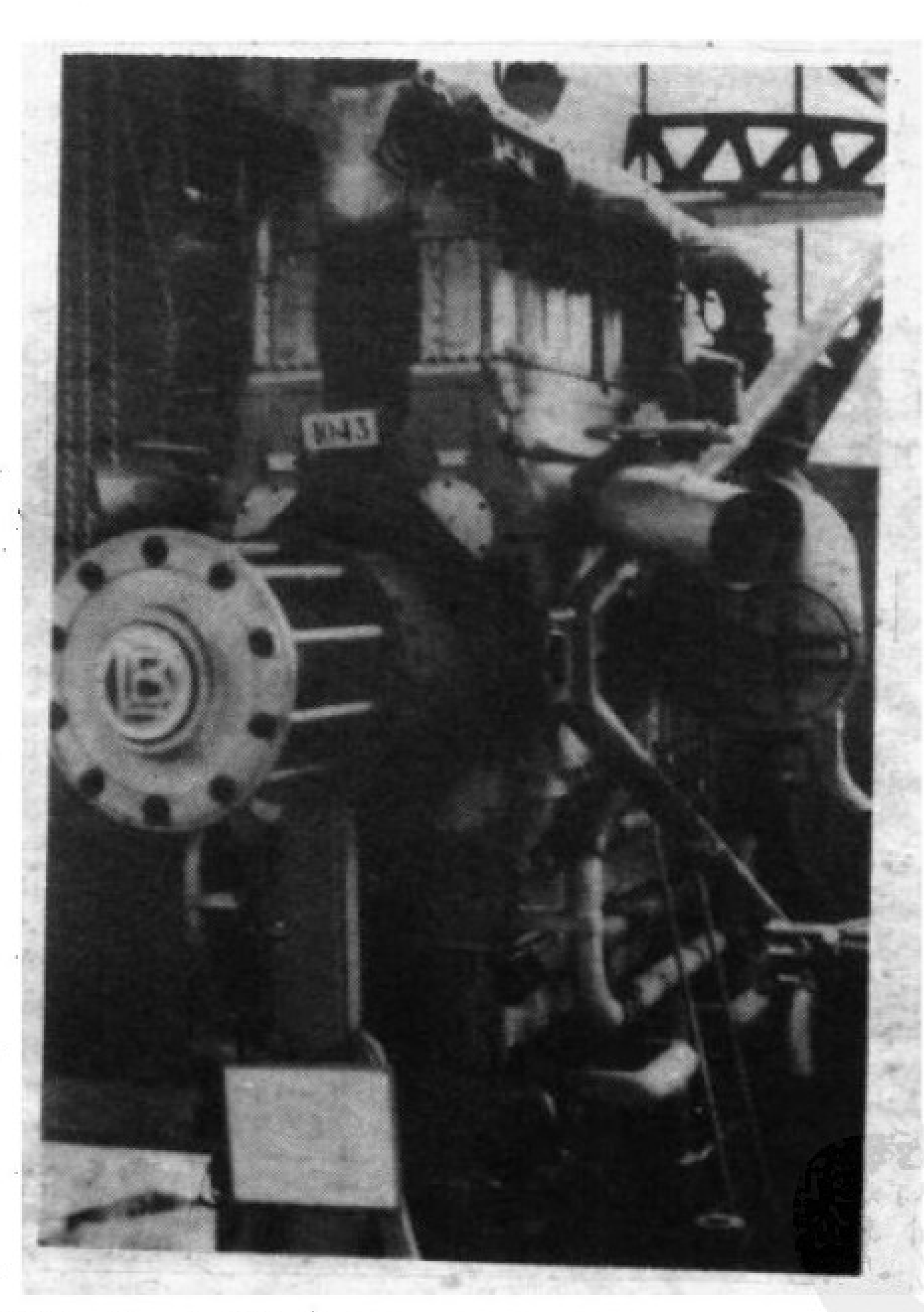


照片20-4　布干泰的双子机。缸径120mm，行程160mm、16缸、420hp（巴黎航空博物馆）

这种平行8缸双子机是由美国迪森帕格汽车公司签约负责开发的。当时，协助迪森帕格公司开发的是哈瑞·米勒（Harry Miller）。他后来又匹配了离心式增压器，在印第安纳波利斯500英里汽车拉力赛中独领风骚。但是，在该机完成之前，世界大战就结束了，因此没能问世。

然而，布干泰在双子发动机上又接上两个发动机。把4个8缸机排成H型，上面2个，下面2个，靠齿轮把4根曲轴连接起来

输出功率（照片 20 - 5）。该发动机装在布雷格特的海中怪兽号飞机上了。因为保存有该机的照片，估计是飞行过的。但是由于发动机背后的客舱里的热气和噪声，使旅行变得兴趣索然（图 20 - 1）。一次大战末期的布干泰、布雷格特以及二战末期的海因格尔等人，和全人类一样经历了许多失败与磨难。那些布干泰发动机曾保存在他远离祖国潜心投入设计的巴黎郊外的姆敦航空研究所里（照片 20 - 6），现在转移到勒・布尔日机场附近的航空博物馆（照片 20 - 6）。



照片20 - 5　布干泰设计的 4 子机。缸径 108mm、行程 160mm　32 缸、47L、1000hp/2200r・min^{-1}（巴黎航空博物馆）

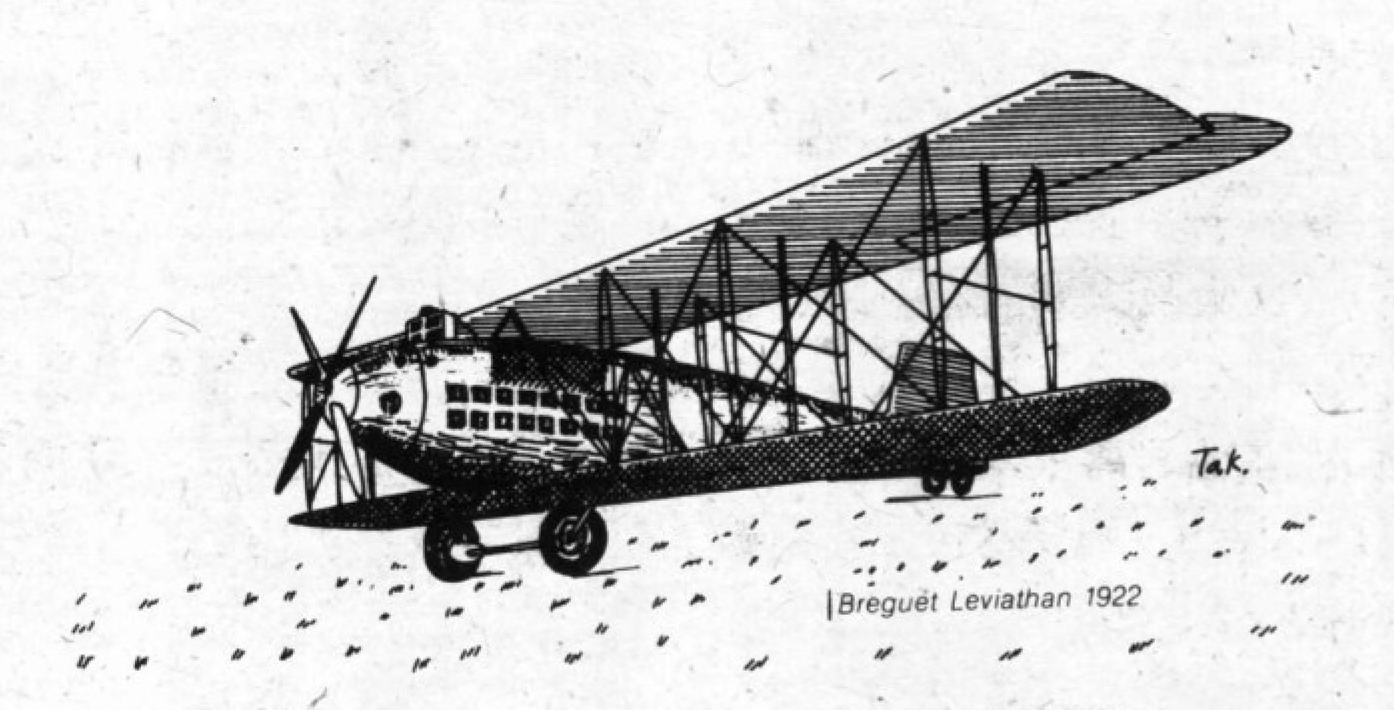


图20－1 装有4子机的布雷格特·海中怪兽号（1922年）具体结构，有的部分是推侧的



照片20－6 布干泰为了与默谢台斯·本茨抗衡，进行发动机设计的航空研究所。后来成为博物馆，曾保存过他设计的发动机（人物为著者）

21. 波尔舍的模仿

模仿是创造的根本。当心中产生共鸣时，真正的模仿便开始了。

杰作雷诺 4CV

勃拉姆斯交响曲第一回第四乐章酷似贝多芬交响曲第九回第四乐章，这已是广为人知的了。并且，贝多芬第九交响曲的构思灵感，要追溯到首次公演的 23 年前盖尔巴尼的作品，这也是史学家们尽知的了。盖尔巴尼的作品在贝多芬心中产生了深深的共鸣；而贝多芬的乐章又在勃拉姆斯心中留下了鲜明强烈的印象，成为通往名曲的天梯。

汽车、发动机以及所有的机械都要历经与之完全相似的过程。必须与前人的作品产生共鸣，情不自禁地把这种共鸣溶进自己的作品中去，于是杰作诞生了。

如前所述，康特萨是从模仿雷诺 4CV 发展起来的。正如各位所知，雷诺 4CV 是由汽车和发动机的设计大师波尔舍在二战刚结束后，因成为战犯而身陷囹圄时绘制出设计图，并完成开发工作的。据记载，法国工业部长曾提出，把奉希特勒之命诞生的，当时尚未投产的大众车，法国化后生产，但遭到了雷诺公司的反对。总而言之，受波尔舍影响的雷诺 4CV 作为杰作，风靡一世。

大众车的诞生

我注意到了在这位巨匠的世纪杰作——大众车的结构中，巧妙地溶汇了许多前人的构想。

1933 年在柏林汽车博览会上，当年 1 月份执政的希特勒来到

了会场。他对别的汽车不屑一顾，径直向太脱拉的展台走去，他是太脱拉车迷。在那里，他会见了太脱拉的设计师——汉斯·雷德温卡，并说起他驾着太脱拉·茨茵到奥地利游说，行程达100万公里云云（照片21-1）。



照片21-1　达哈体泰恩附近。希特勒驾驶太脱拉·茨茵巡回游说的奥地利乡村

太脱拉·茨茵是装有1100mL、空冷2缸、12hp发动机的脊梁式车架的捷克斯洛伐克制小型车（图21-1）。希特勒仔细地听取了有关空冷V8型后置发动机的新型太脱拉的介绍。并且，当晚雷德温卡又被希特勒召见，叙谈到10点以后。据说在告别时，希特勒说，德国的新国产车就应该制作成象太脱拉那样强大的空冷式的。

在那一年岁暮，波尔舍集中了人们对国民车的构想，向纳粹的运输部长递交了第一份报告。翌年伊始（1934年1月），又呈上了第二份长篇报告。尔后不久，有名的波尔舍、希特勒会谈在柏林的盖瑟霍夫饭店举行，此次会谈与大众车的诞生息息相关。希特勒命令，一定要造出像太脱拉那样的车来。

1938年5月26日，沃尔夫斯堡的大众厂的开工仪式，由站在擦得锃亮的大众试制车旁的希特勒的演说拉开了序幕。然而，这时太脱拉公司向大众公司发出了多达10项侵犯专利的通告。例

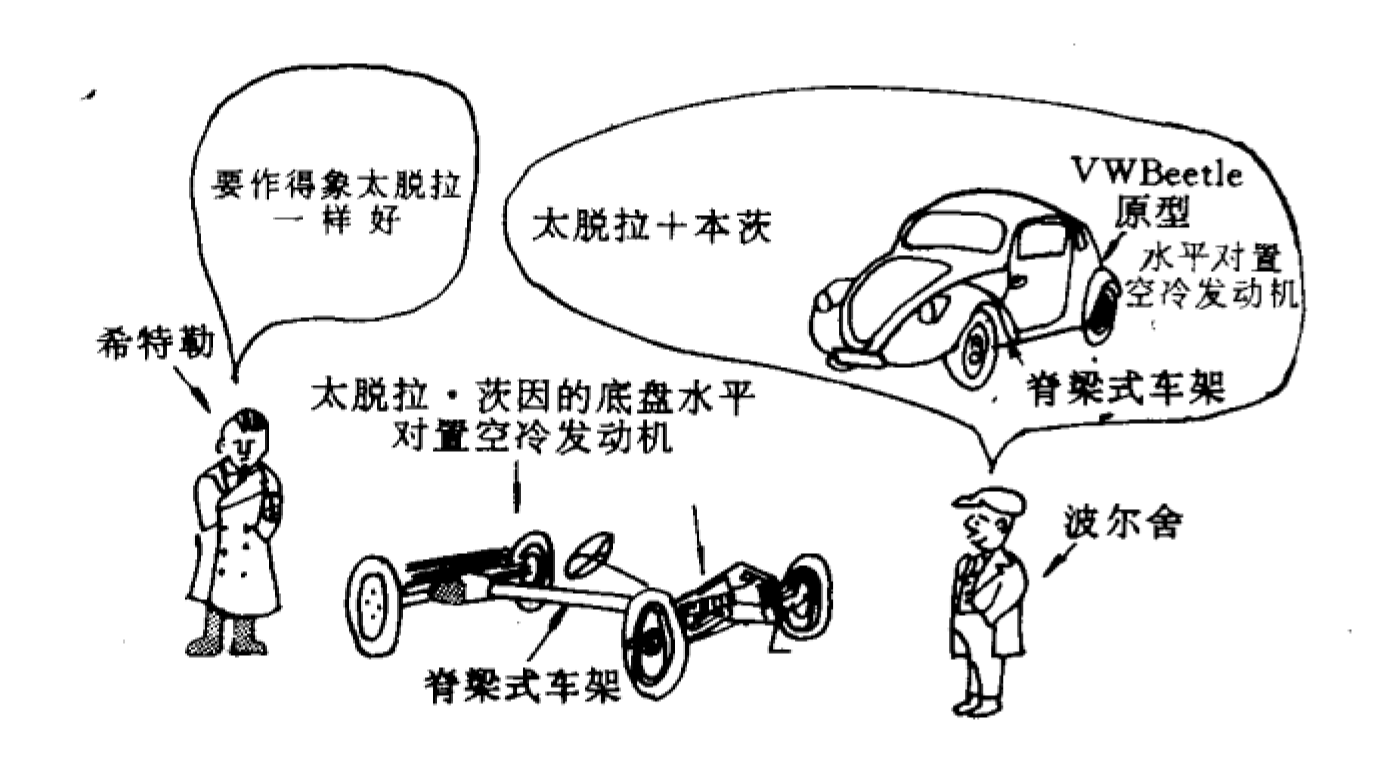


图 21 - 1　波尔舍的理想中，溶汇了太脱拉的构思

如，发动机布置在脊梁式车架后部的结构，是雷德温卡潜心钻研后置发动机噪声对策的结果。

还有，变速箱的齿轮箱布置、冷却气道形式，这些都被原封不动地运用到大众车上了，等等。雷德温卡是 1921 年离开斯泰尔公司，波尔舍于 1929 年接管斯泰尔公司的工作后，弄到了所有的设计资料。

并且，如上所述，在 1923 年以后波尔舍在戴姆勒公司的汉斯·尼贝尔手下工作，通过本茨 170H 及上一级车 130H 的开发，积累了丰富的后置发动机的经验。

波尔舍根据这些宝贵的资料和自己的宝贵经验，以及无以伦比的，自身迸发的对小型国民车的热情，坚定了已有信念的构想。这一构想在希特勒的指示下变成了现实。

大众车的杰作并不是简单地盗用他人构思，而是吸收了前人的技术精华，溶汇到自己的经验中去，把与自己心中的形象产生的共鸣作为信念固定下来时，杰作便在绘图板上一泻千里。

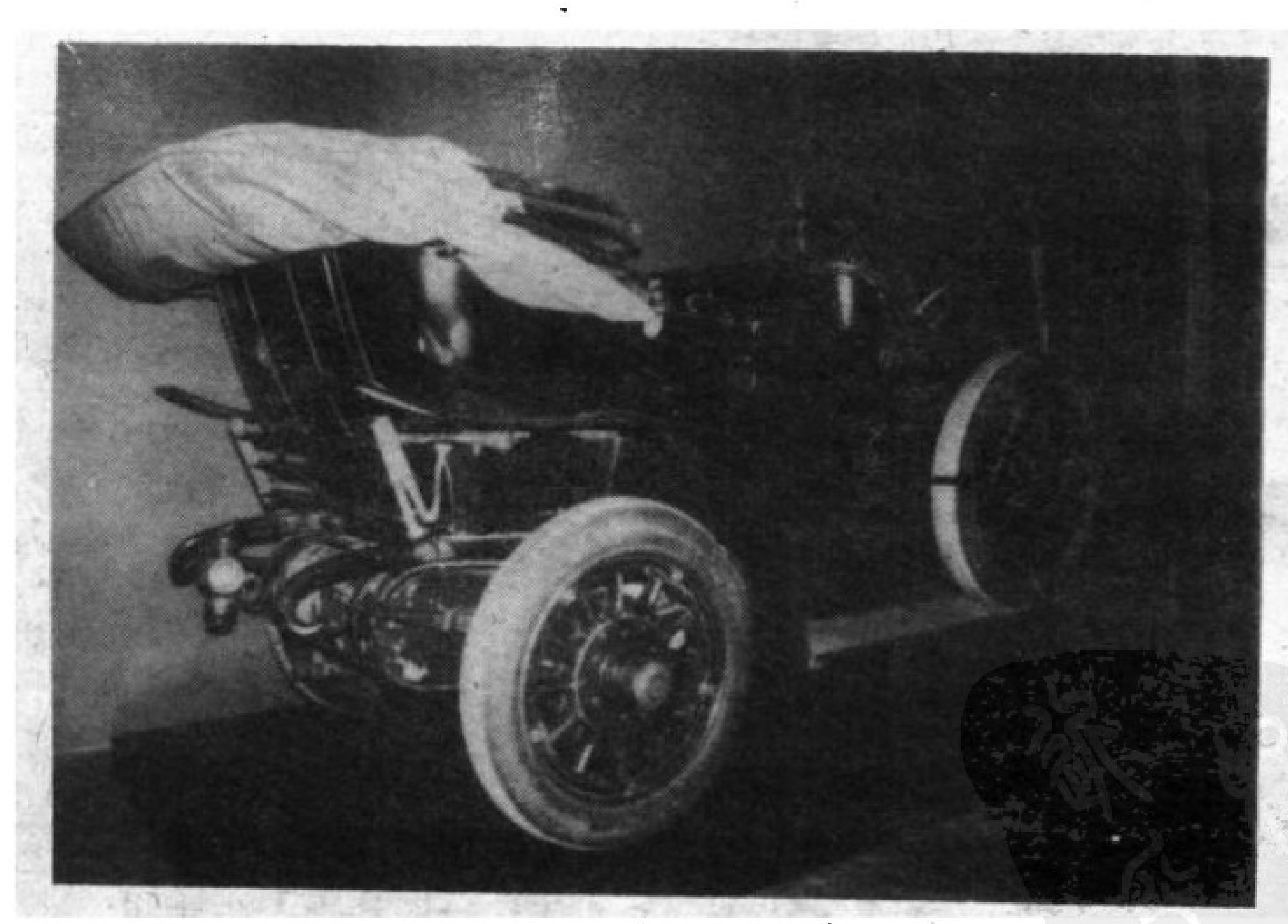
然而，德国对于太脱拉公司的侵犯专利权的诉讼，不予理睬，只是说等战争结束后再说吧。最后还是不了了之。

22. 仿制戴姆勒发动机的罗尔斯·罗依斯公司

抢亲生下明星发动机。留下明星发动机扬长而去的梅巴哈。

被盗走的发动机

在英国向德国宣战的1914年8月4日，一位身着便服的英国海军军官从洛格埃斯的戴姆勒代销店的废品存放场地悄悄地运走



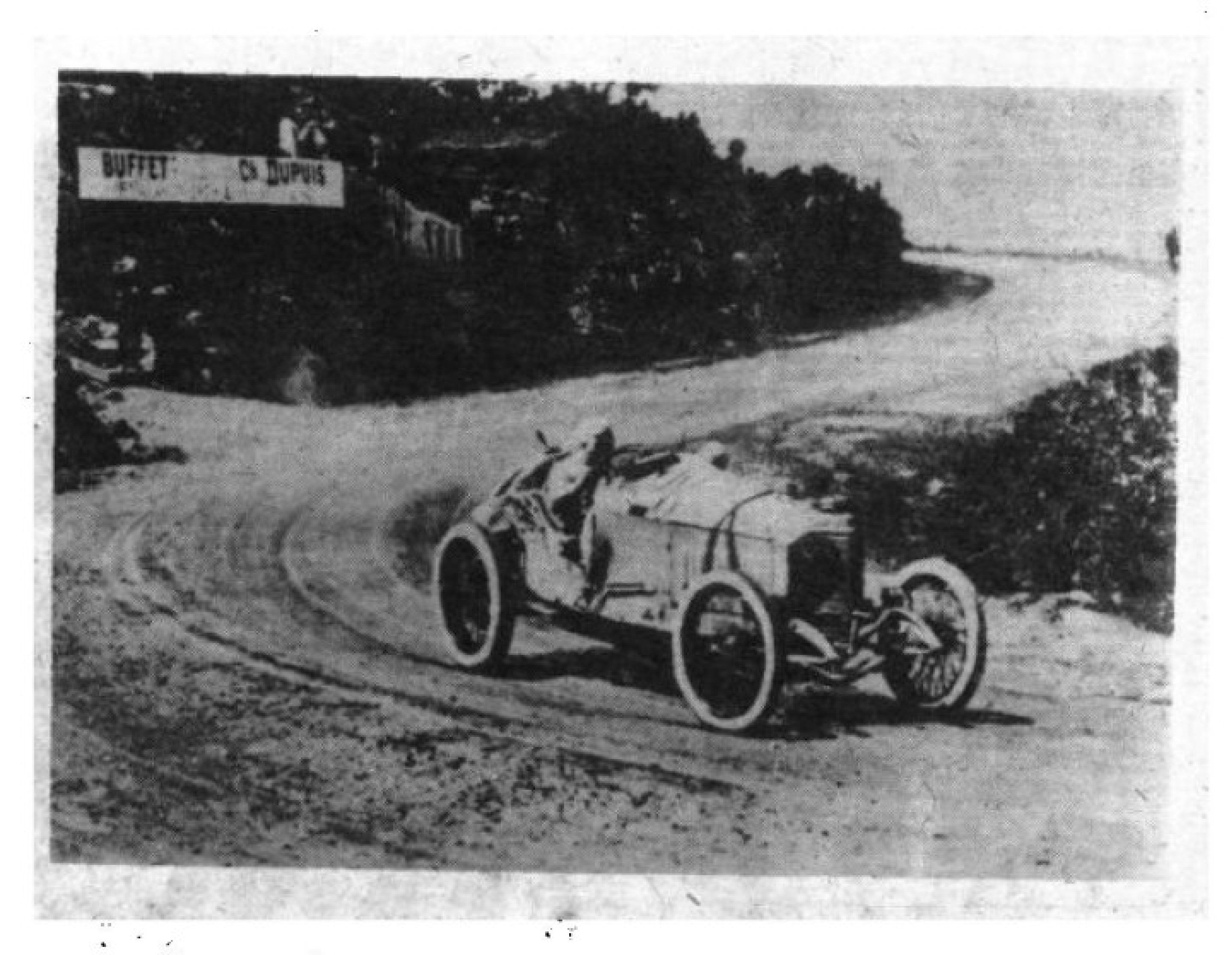
照片22－1　费尔德南皇太子夫妻遭暗杀时乘坐的车。1910年制，车体上的弹痕历历在目（维也纳军事博物馆）

了一台旧发动机。在发生此事的大约一个月以前的6月28日，奥

地利的费尔德南皇太子夫妻被塞尔维亚人暗杀，第一次世界大战爆发（照片 22 - 1）。戴姆勒代销店的德国人已经撤走了。

却说罗尔斯·罗依斯公司的德比厂马上从运输箱里取出这台旧发动机，认真地进行分解，并测绘出草图。

在皇太子夫妻被暗杀事件发生不久的 7 月 5 日，法国汽车大奖赛在里昂隆重召开。在大赛中，戴姆勒·本茨独揽了第一位到



照片22 - 2　在法国汽车大奖赛中，歌谢台斯包揽了 1～3 位。照片中的是遥遥领先的冠军——劳特什拉（本茨博物馆）

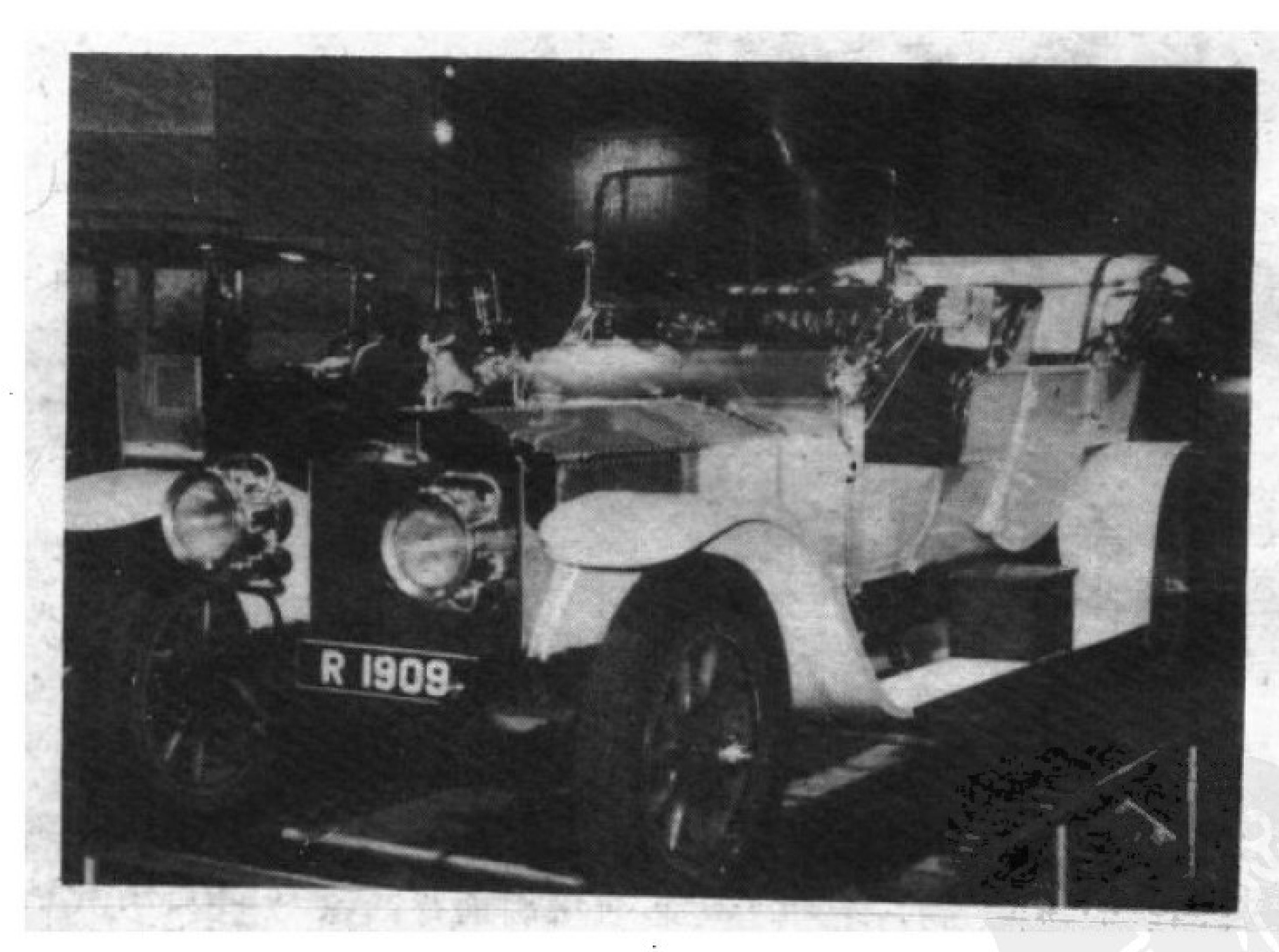
第三位的鳌头（照片 22 - 2）。装用的发动机是保罗·戴姆勒倾注全部心血研制成的，是世界上首次采用顶置凸轮（OHC）方式；每缸 4 气阀，两个火花塞的划时代结构，输出功率达 115hp/2700r·min^{-1}

罗尔斯·罗依斯公司的本特利打心眼里喜欢这个设计。他立即向上级布里格斯提出窃取该发动机的建议并获准。这就是乔装

窃取发动机的由来。英国海军之所以出面，是因为正好在那个时候，海军为了与默谢台斯航空发动机抗衡，指示罗尔斯·罗依斯公司开发 75～100hp 的航空发动机。这就是本世纪模仿故事的开端。

罗依斯的英明决断

在英国罗德蒙塔古国立汽车博物馆的正厅里，罗尔斯·罗依斯的不朽名车“银色海岸”陈列在暗室中间，在光的照射下显得分外光彩夺目。那种仿佛看到在卢夫尔美术馆的暗背景下，烘托出维纳斯的感觉油然而生，为之感动的恐怕不仅仅是汽车迷吧（照片 22 - 3、22 - 4）。



照片22 - 3　罗尔斯·罗依斯公司的“银色海岸”车点缀在英国罗德蒙洛古国立汽车博物馆的入口处（1909 年型）

“银色海岸”的发动机，果断地放弃了上一级车的顶置气门（OHV）方式，采用了侧置气门式（SV）（图 22 - 1）。这是与罗尔



照片22－4　米洛的维纳斯。罗德蒙塔古的“银色海岸”的美丽，让人仿佛欣赏到米洛的维纳斯一样，令人激动（卢夫尔美术馆）

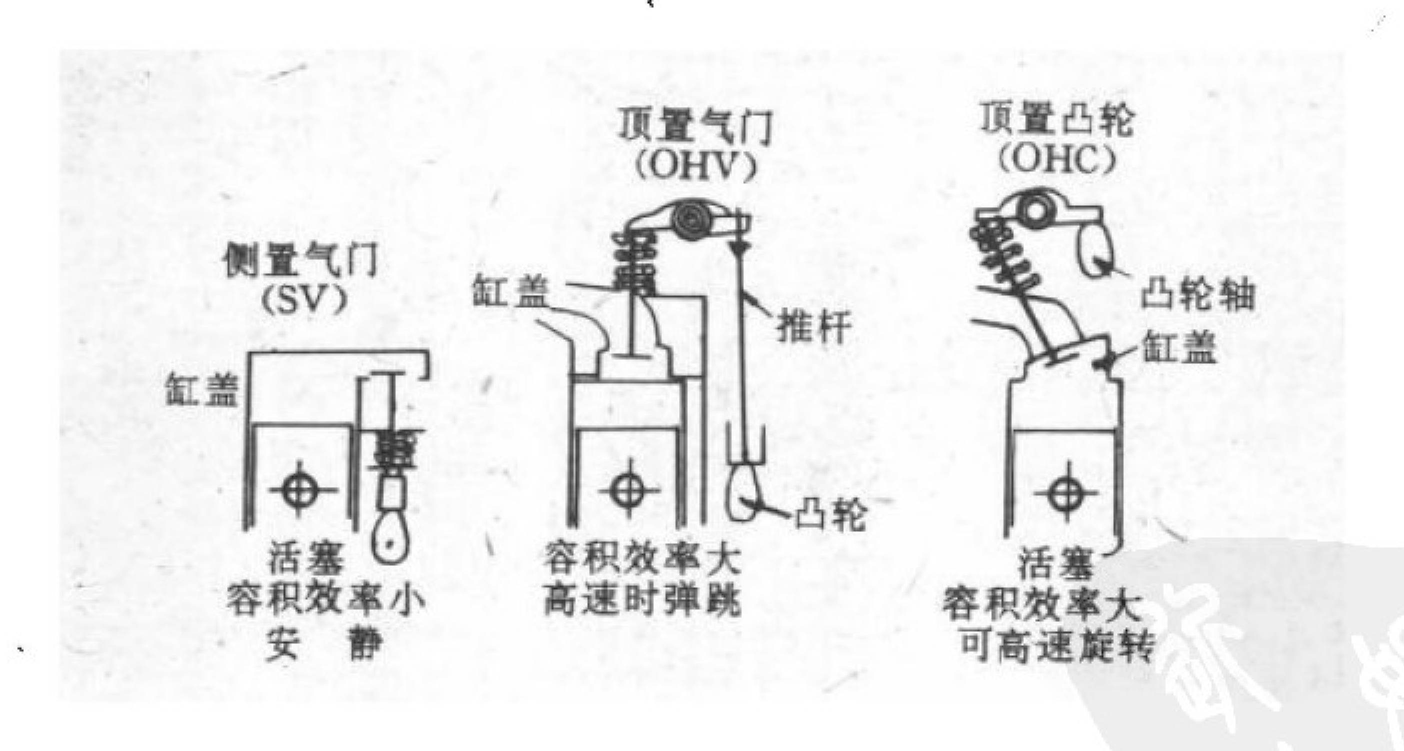


图22－1　气门驱动方式的种种。罗尔斯·罗依斯的“银色海岸”为侧置气门式，而默谢台斯的赛车为顶置凸轮式

斯一起创立罗尔斯·罗依斯公司的罗依斯的决断。理由是为了降

低噪声，以及因当时的缸盖密封垫的品质还不够完善，采用形状简单的侧置气门或可提高可靠性。因而，尽管作为车用发动机，“银色海岸”的发动机在当时已具备优秀发动机的品质，但是存在容积效率即进入气缸里的混合气的进气效率不好，功率略嫌不足，以及对墨谢台斯的 OHC 机构未加任何改动就用上去了等问题。

为了提高容积效率，应加大进气门直径，使开启面积增大。因此首先有必要采用 OHV 方式。但却因此额外地增加了推杆（见图 22 - 1）这一运动件惯性质量，一到高速运转，由于惯性作用使气门弹出损坏。于是把凸轮轴放在气缸盖的上部，就不用推杆了，气门质量减轻，又可以进行高速运转，这就是 OHC 方式。

默谢台斯通过把一个进气门分成两个的方法以减轻单个气门的质量，从而防止气门弹出。即进排气门合起来共 4 个。布置在缸盖的凸轮轴，默谢台斯是通过两对伞齿轮驱动的（图 22 - 2）。

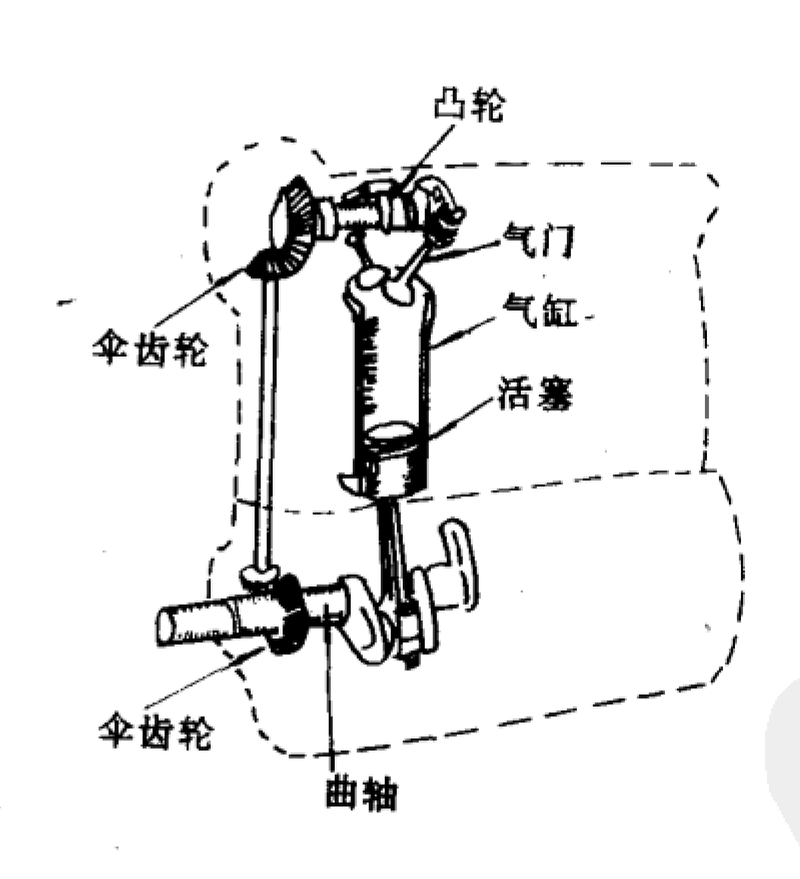
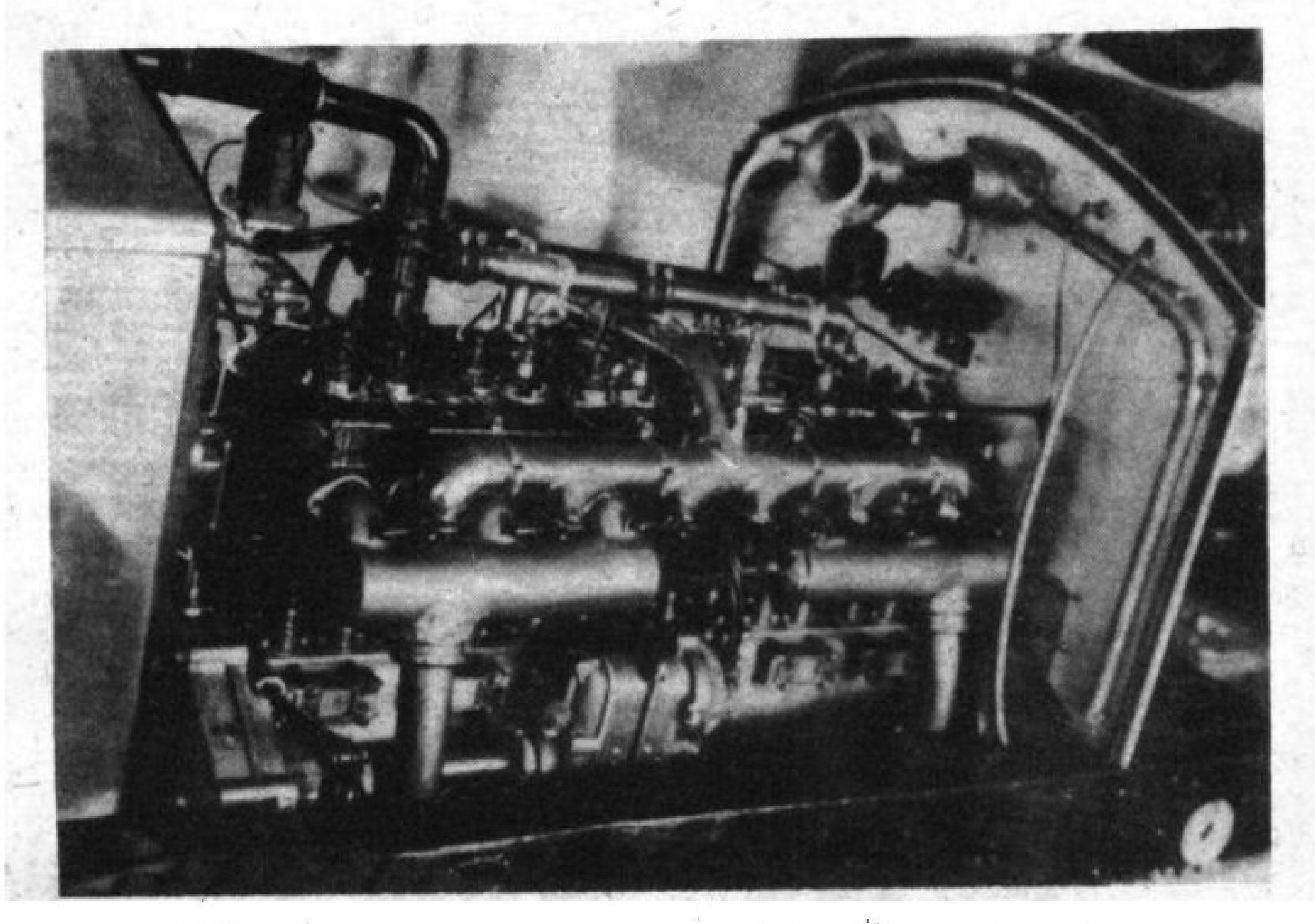


图22 - 2　伞齿轮驱动的 OHC 机构。默谢台斯是借助伞齿轮机构来驱动凸轮轴的（图示为 2 气门式）

罗尔斯·罗依斯·霍克航空发动机就是忠实地按照原设计制造出来的（照片 22 - 5、22 - 6、22 - 7）。多年以后成名的罗尔斯

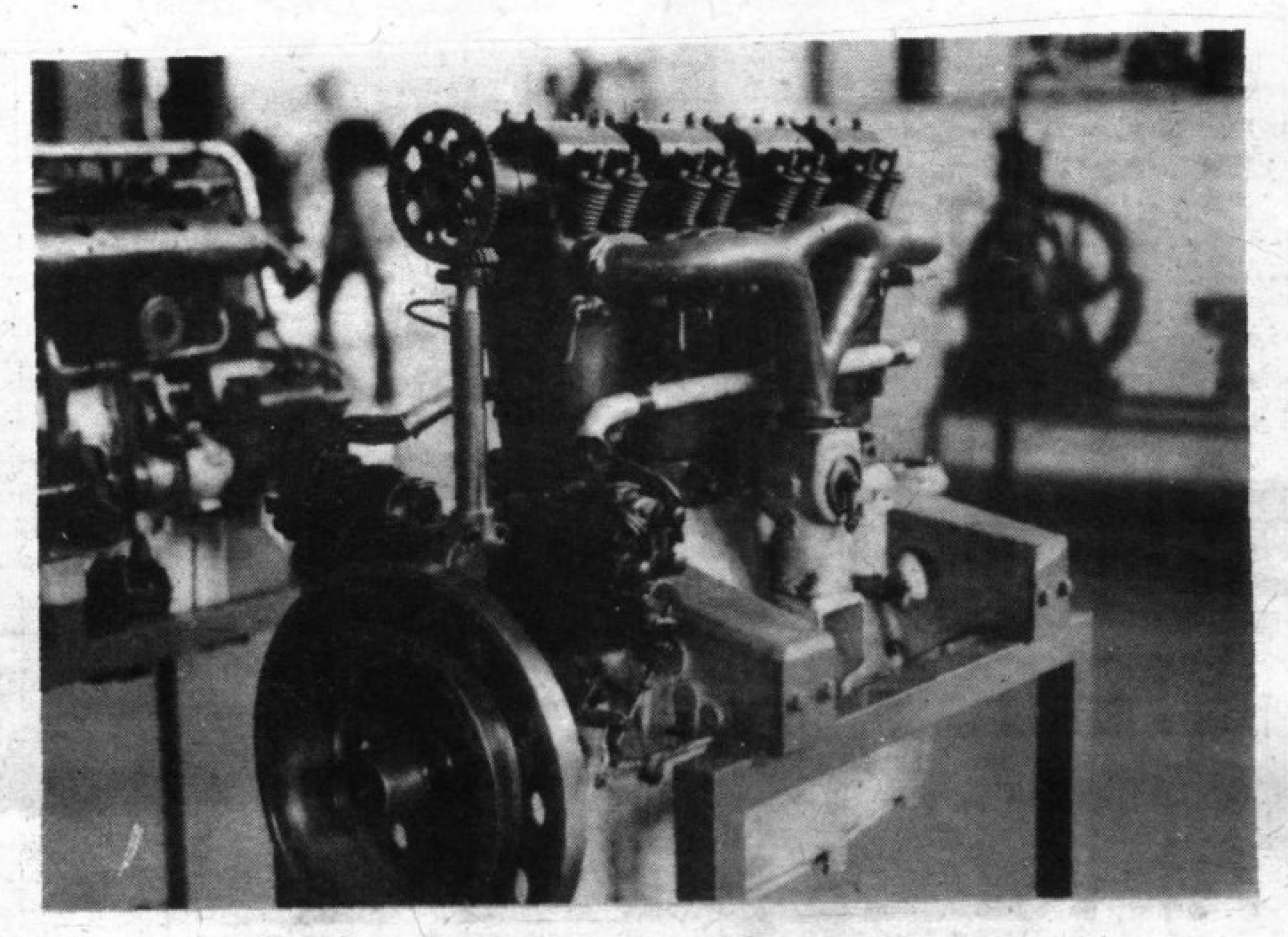


照片22－5　罗尔斯·罗依斯的“银色海岸”车用6缸机。照片的上半部分吸收了默谢台斯发动机的设计，发展成为霍克航空发动机

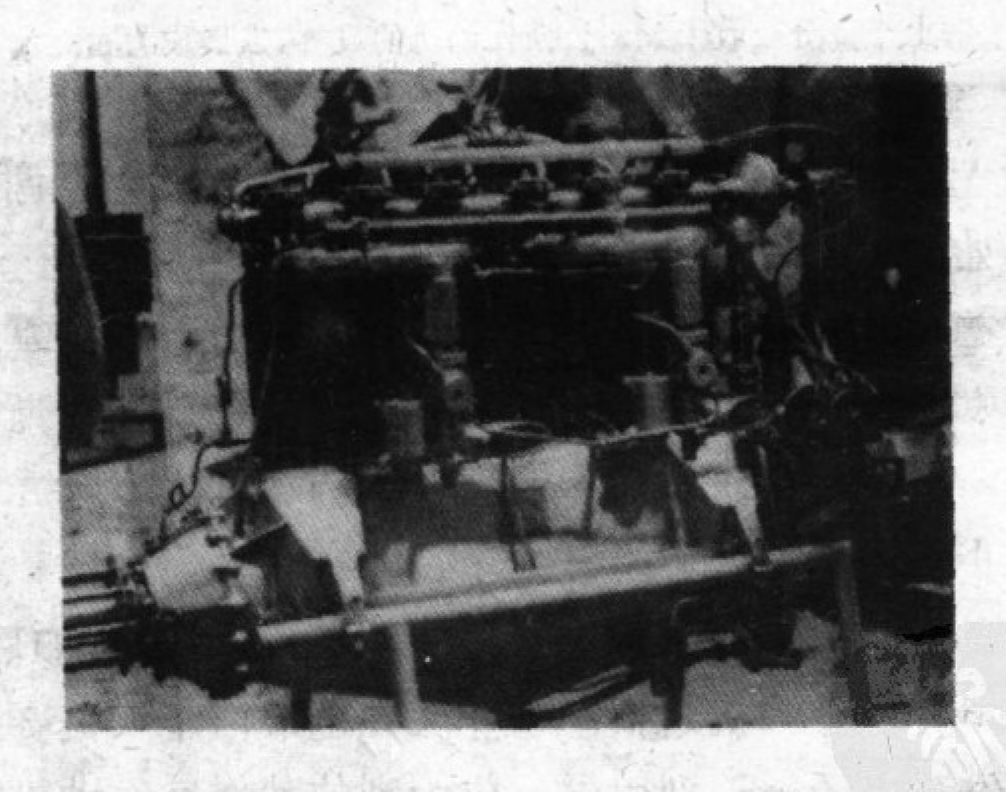
·罗依斯·玛琳发动机的历史，实际上是从那次与墨谢台斯的抢亲成婚开始的。

却说德国人发现击落的敌方战斗机，装着与德国默谢台斯一模一样的发动机，大吃一惊。传说火冒三丈的默谢台斯致函罗尔斯·罗依斯公司，要求支付专利费。但与德国人发动二次大战相比，真是小巫见大巫，不足挂齿了。

默谢台斯的这一成果还被意大利的菲亚特采用；如后所述，还成为苏联坦克用发动机的根。有一台在里昂汽车大奖赛上用过的默谢台斯发动机还被运到美国，成为利伯蒂航空发动机而发展壮大。1922年4月7日，在美国的代托纳比奇，一位名不见经传的挪威人西格·豪格达尔驾驶着形状怪异的威斯康星牌赛车，创造了车速288.5km/h的记录。装用的威斯康星航空发动机也和默谢

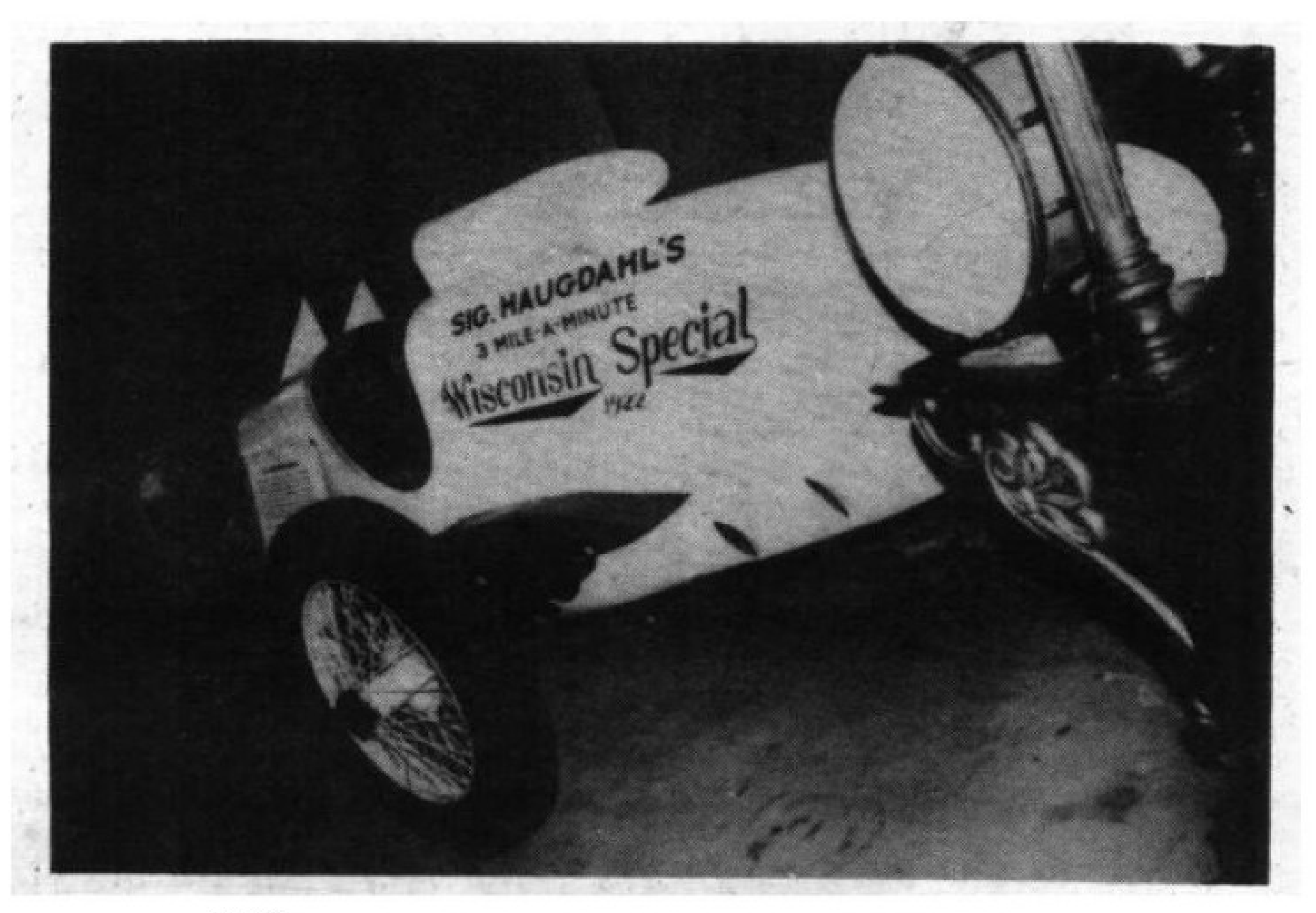


照片 22 - 6　默谢台斯赛车用发动机 115hp/2700r · min^{-1}



照片22 - 7　罗尔斯 · 罗依斯 · 霍克航空发动机。100hp/1500r · min^{-1}。下半部分沿袭了“银色海岸”的设计，不过，看上去与默谢台斯一模一样

台斯的一模一样（照片 22 - 8）。

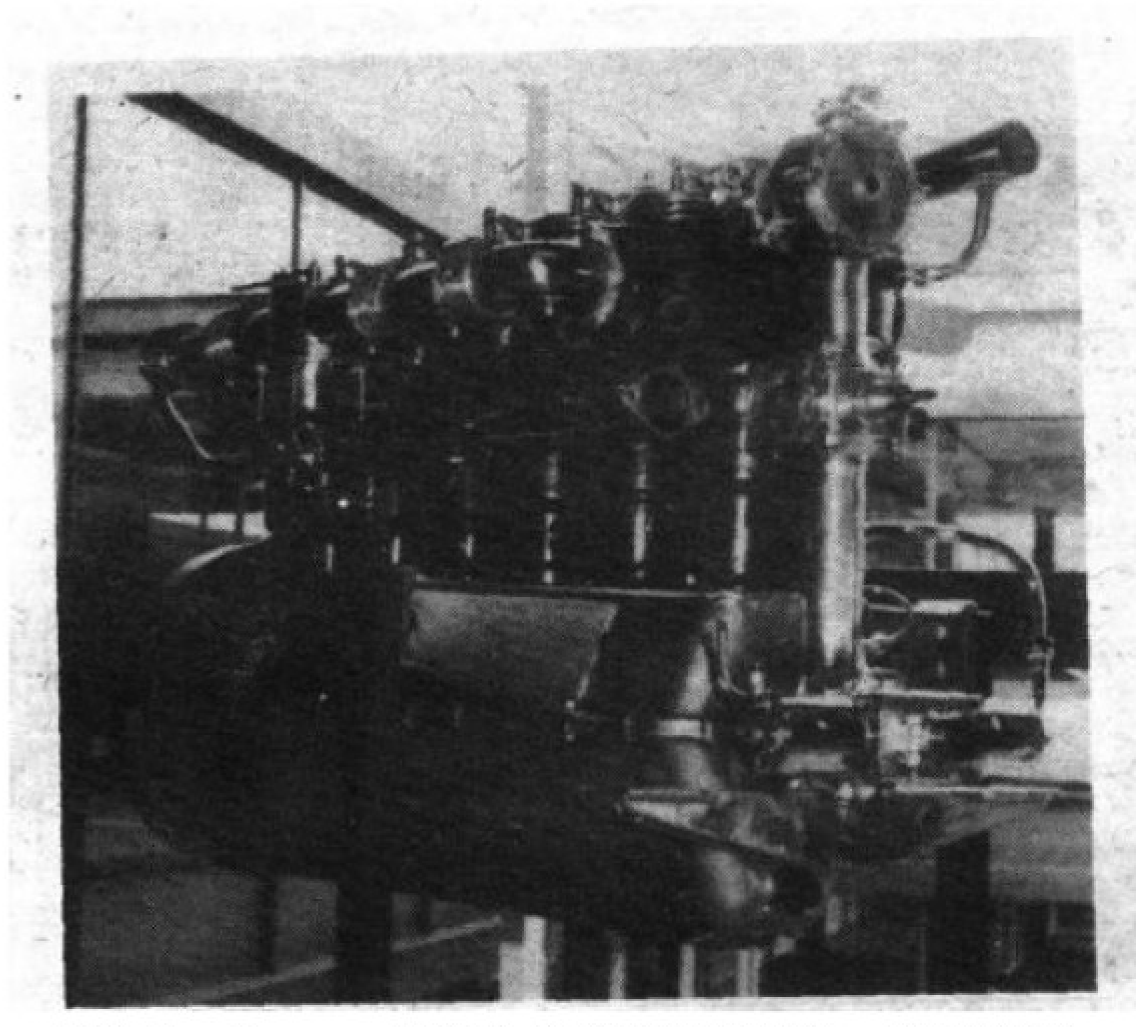


照片22－8　西格・豪格达尔驾驶的威斯康星怪异车。与魔镜一起陈列在奥特维拉玛博物馆的一角

默谢台斯的后裔们

然而，凸轮轴驱动的OHC方式，1906年被默谢台斯赛车发动机所采用。有趣的是，同一年同一默谢台斯的赛车发动机有两种：一种是13L、100hp；一种是11L，125hp。前者为常见的OHV方式，是帕尔・戴姆勒制作的；后者为高功率型的OHC方式，是威廉・梅巴哈制作的（照片22-9）。后来的产品表明，还是梅巴哈的OHC方式被采用。但是威廉・梅巴哈在次年的1907年，离开了默谢台斯的制造厂——戴姆勒公司。戴姆勒公司的总工艺师，创始人科托利布・戴姆勒的长子——帕尔・戴姆勒接替了他的工作。

于是，我不由得想起了最早的奥托4行程发动机的排气门开关机构，就是这种轴驱动方式（参考照片6－1）。梅巴哈的最初设想在这里复苏，以后迅速发展起来。



照片22－9　1906年默谢台斯的竞赛用发动机。梅巴哈留下这台杰出发动机，离戴姆勒公司而去。这种顶置凸轮结构后来成为大功率发动机的标准方式（本茨博物馆）

1905年美国著名的印第安纳利斯赛车场的创始人之一，卡尔·费希尔，制作了一台不切合实际的大容量发动机的赛车（14升），取名为"称霸世界"。发动机为空冷式。凸轮的驱动酷似1906年型的默谢台斯。该车由于发动机太大，质量超过规定，不得不把所有的外装都去掉，弄得千疮百孔，赤身裸体地出场了。有人推测说，他的设计得益于梅巴哈的构想（图22－3）。

后来，由罗尔斯·罗依斯发动机演变来的玛琳发动机终成大器。在美国进行了许可证生产，装在联合国军的主力飞机上。另一方面，默谢台斯把它发展成戴姆勒600系列发动机。在日本和意大利进行许可证生产，装在德、日、意三个轴心国的主力飞机上，演出了一场同根骨肉相残的悲剧。

［附记］　这篇模仿罗尔斯·罗依斯的故事，主要取自W·O·本特雷的著作。但是在A·巴德、I·哈 罗斯的著书里却没有涉

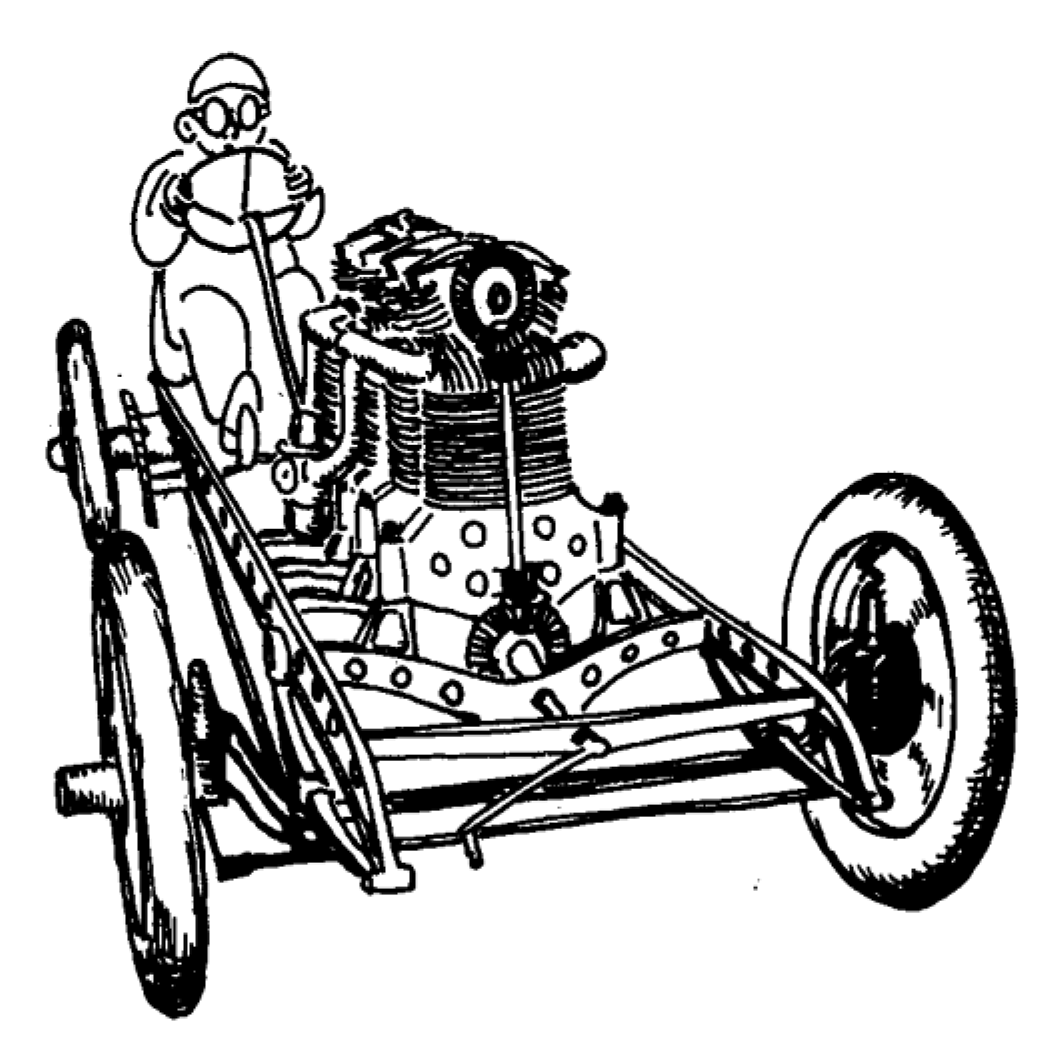


图22－3　费希尔的“称霸世界”（1905 年）。由于装用了 14L 这么巨大的发动机而严重超载，最后弄得千疮百孔。尽管如此，仍嫌体积过大，最后层层剥皮，赤膊上阵，以失败告终。原因是设计师缺乏平衡感所致（此图是参考了皮特·海尔克的“光荣的汽车赛”（朝日新闻社）绘制的）

及到只鳞半爪，并且连本特雷的名字也未出现。正如富塚清教授所说，历史这个东西是很不可靠的，有时有水分。但以我之拙见，我们从这些故事中吸收珍贵的技术系谱之精华，点缀自己的技术道路，岂不美哉。

23. 敲缸问题

意外获得控制爆震之招法的默谢台斯。开窥视孔观察发动机燃烧状况，乃是本世纪的一大发现。

敲缸现象

默谢台斯在法国汽车大奖赛中称雄的发动机，如前所述，取消了侧置气门方式，将进排气门放在燃烧室上部，在增加混合气进气效率这一点上（增加了容积效率）收到很好的效果。在提高功率方面的另一个有利之点是这种方式未必很适合防止“敲缸”的异常燃烧。所谓“未必”的意思是因为实际上首次弄清楚“敲缸”现象的是在1938年。再者，默谢台斯将两个火花塞安装在燃烧室两侧，在克服“敲缸”方面也曾发挥了极大效果。

1980年3月，美国汽车工程学会（SAE）在其年度大会上庆祝成立75周年，举行了一项纪念活动，就是选出了拉斯韦勒和威思罗（G·M·Rassweiler and L·withrow）作为对汽车技术发展最有贡献的人，作了纪念讲演。并且重新印刷和出版了1938年首次记录敲缸现象的高速摄影照片及其发表的论文。

但是，纪念讲演是在只有燃烧专家们参加的小房间里举行的。拉斯韦勒已在1978年谢世，纪念讲演是由威思罗作的。他的学生，后来因第一个尝试从活塞下侧观察燃烧室内部的燃烧状况而出名的鲍迪奇担任了大会主席。鲍迪奇介绍说，拉斯韦勒的儿子出席了会议。虽然被列为燃烧计测会议的头一个讲演题目，历时很短，但给人们的印象却很深。

即使在今天，当您驾着车，突然加速，很多车会发出微弱的

敲缸声。这是因为在设计时把敲缸控制在微弱程度的缘故。

如果提高压缩比，就能使热效率增加，这已经叙述过了。当然，也应该能使功率提高。但是，在汽油机发展的初期，之所以顽固地拒绝采用提高压缩比，就是因为敲缸。即，如果提高压缩比，那么发动机就会发出象用锤子敲打似的哐哐的噪声；如果油门全开，响声会更激烈，最后会使发动机损坏。

发现这种现象是在1904年前后。尽管许多人都作过研究，但没有得出结论。这是因为所作的是基础研究，只是把可燃气充入一根长管子里，一头点火，火焰以每秒几米的速度逐渐向另一头推进。但有时也会突发性地以1000～3500m/s的速度传播，这就叫做爆震。在还没有弄清楚敲缸的时期里，人们一直以为发动机燃烧室里发生的爆震就是敲缸。

凯特林批准作观察实验

1931年拉斯韦勒们决定亲眼确认一下敲缸现象，想在燃烧室上开个观察孔，以便窥视其中。并且，还打算使用高速照相机从观察孔来拍摄燃烧状况。

他们把这项计划拿到了他们的领导——凯特林那里。在讲演会上威思罗是这样说明的："当时正值经济萧条。那一年我们公司(GM公司)正大量裁员，压缩一切开支。而我们的实验计划中，以照相摄影用发动机为主，净是些花钱的玩意儿。仅购买柯达照相机一项当时就得花3000美元，整个研究费用预算至少得4万美元。"

但是，凯特林对这项研究计划予以了充分理解和支持。现在电子设备发达，照相机与发动机的调谐很简单。但在当时，就连要想由发动机驱动装胶卷装置这么简单的事，也不得不对发动机进行改造。

正如意料中的那样，观察发动机的内部燃烧现象的实验接二连三地遇到障碍。特别是要同时标定计测所需压力，是极其困难

的。

老博士接着又说：

“我们发誓作到如下三点以推动研究工作：

1. 一定要干好！

2. 竭尽全力！

3. 不图虚荣！

1937年敲缸现象终于被高速照相机捕捉到了，在人类的眼里现了原形。

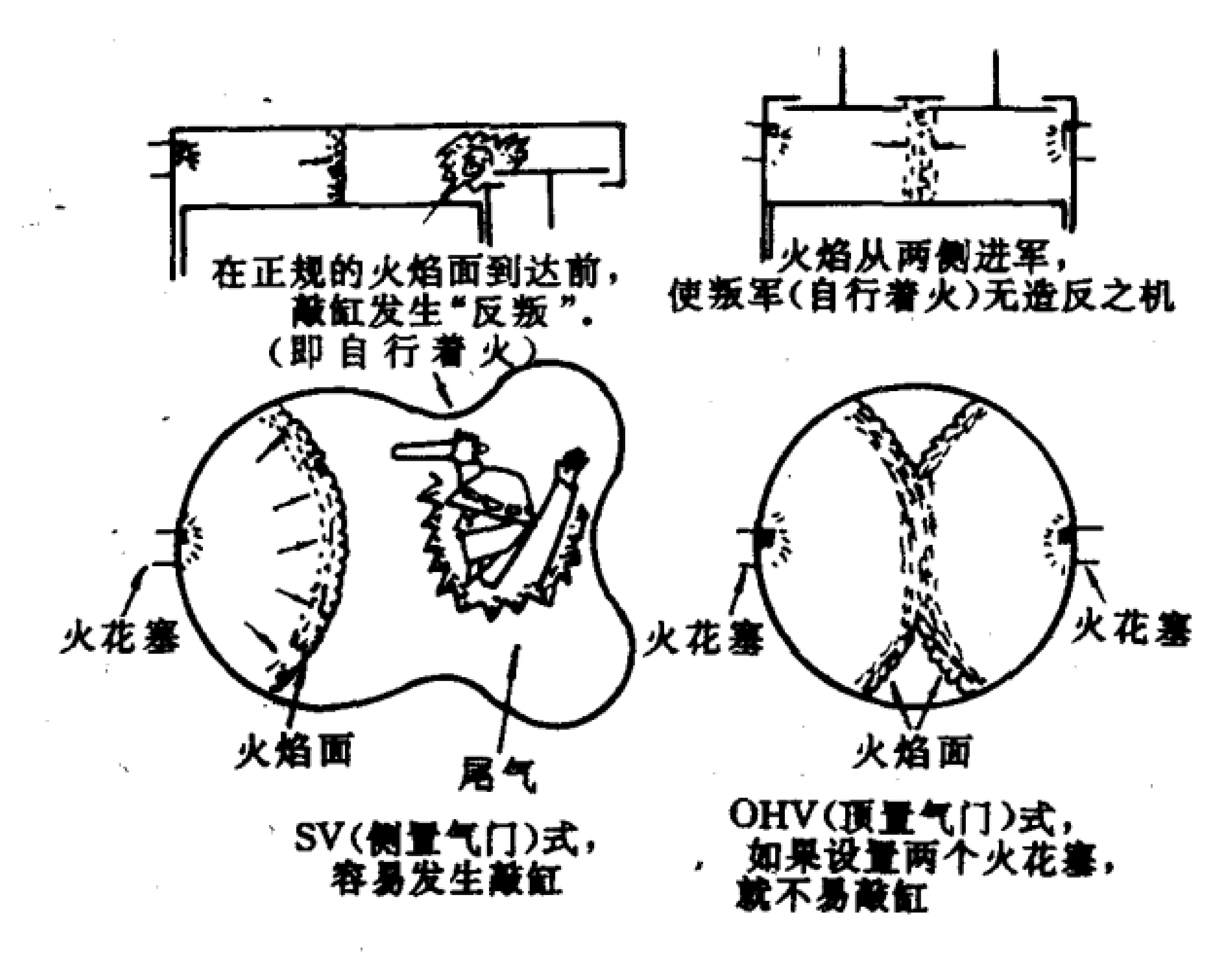


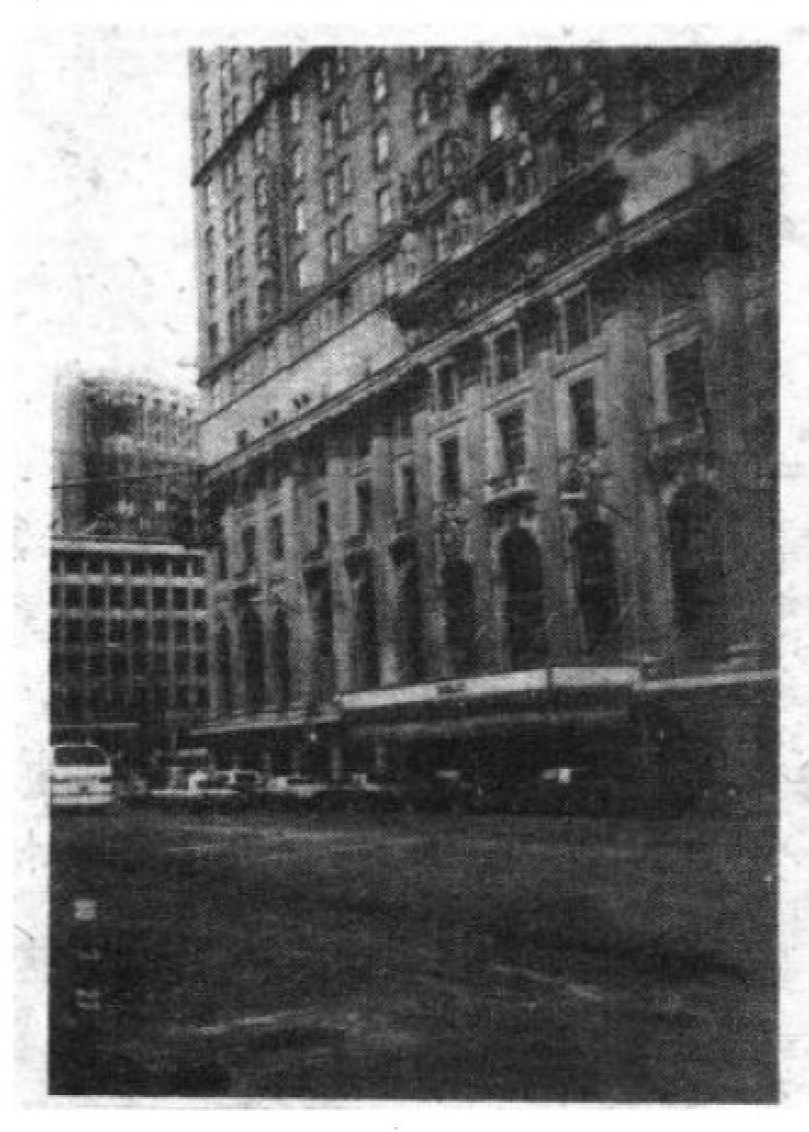
图23-1　敲缸就是末端气体的自行点火

从此澄清了敲缸现象不是爆震，而是在正规传播的火焰前锋到达之前，由随心所欲燃烧的分子在各处发生诱发的自行燃烧，整个燃烧室迅速燃烧，由于这种冲击性压力上升，燃烧压力动荡，致使噪声发生。即使在燃烧室里，也不乏反对正常行为的分子存在（图23-1）。

拉斯韦勒的研究有了成果，追查到敲缸的实质，那么自然就有了控制它的方法了。同一凯特林小组发现了燃油添加剂（四乙铅），使效力大增，压缩比约是原来的2倍，2加仑的汽油能够做

原来 3 加仑的功。

1938 年 1 月 14 日傍晚，在底特律的凯迪莱克饭店举行了这项有纪念意义的研究成果发布会（照片 23 - 1）。

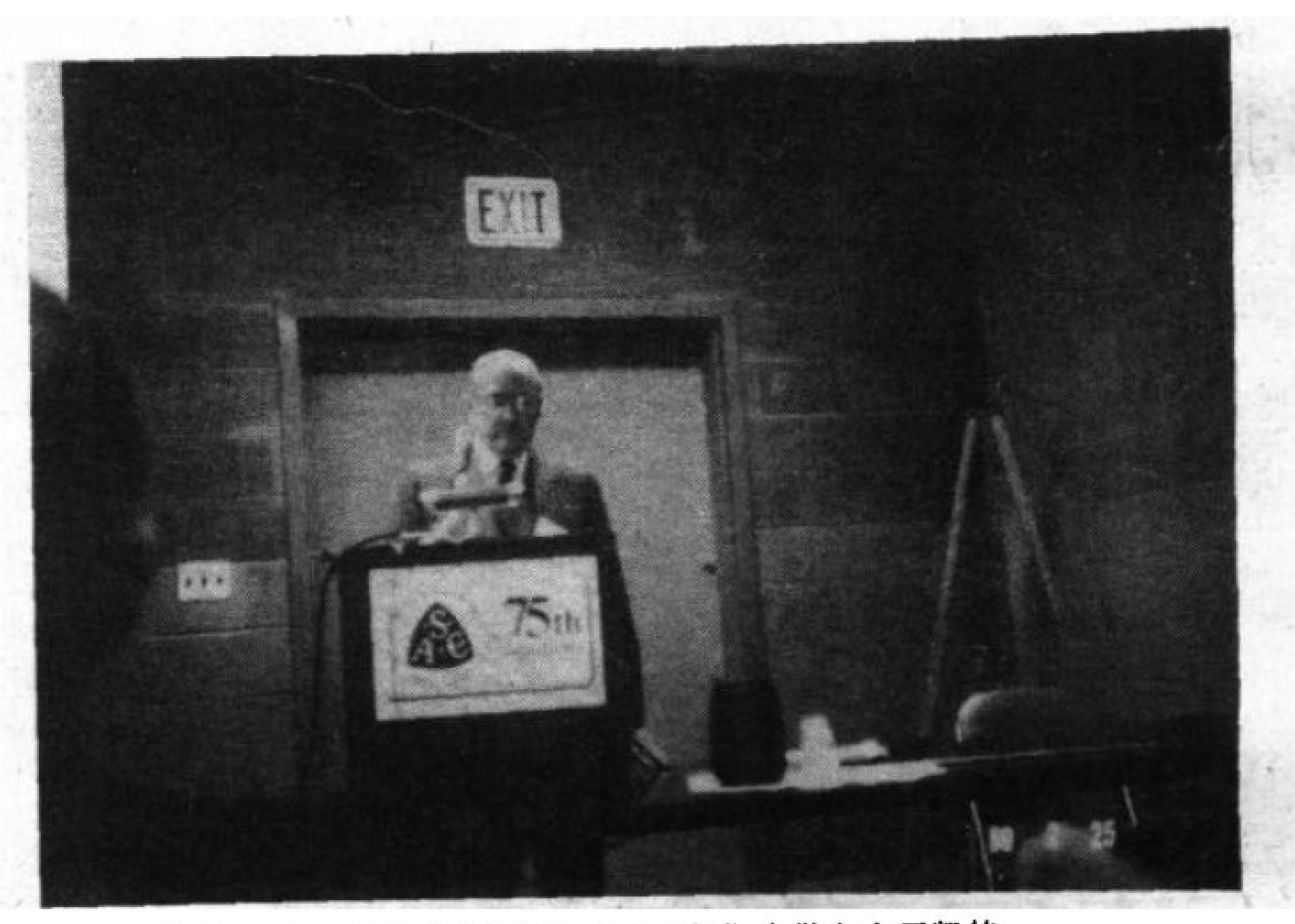


照片23 - 1　首次揭示敲缸现象真面目发布会的会址
——底特律的凯迪莱克饭店

老博士最后再一次感谢凯特林的理解，结束了讲演。鲍迪奇向威思罗递交了 SAE 的感谢信，并赞扬了给我们留下宝贵的里程碑的前辈。在全体起立致意的掌声中，老博士离开了会场（照片 23 - 2、图 23 - 2）。

降伏敲缸

敲缸就是在由火花塞点火的火焰传播到达之前，发生在燃烧室末端气体自行点火的现象。如图 23 - 1 所示，如果取缔侧置气门方式，把燃烧室设计得紧凑些，使火焰及时到达燃烧室末端的话，自然就能够防止敲缸。或者象默谢台斯那样，加两个火花塞，整个燃烧室就能更快地燃烧，使企图自行点火的异己分了无可乘



照片23-2　威恩罗博士赞扬了故友拉斯韦勒和上司凯特林之后，结束了发言（1980年2月）

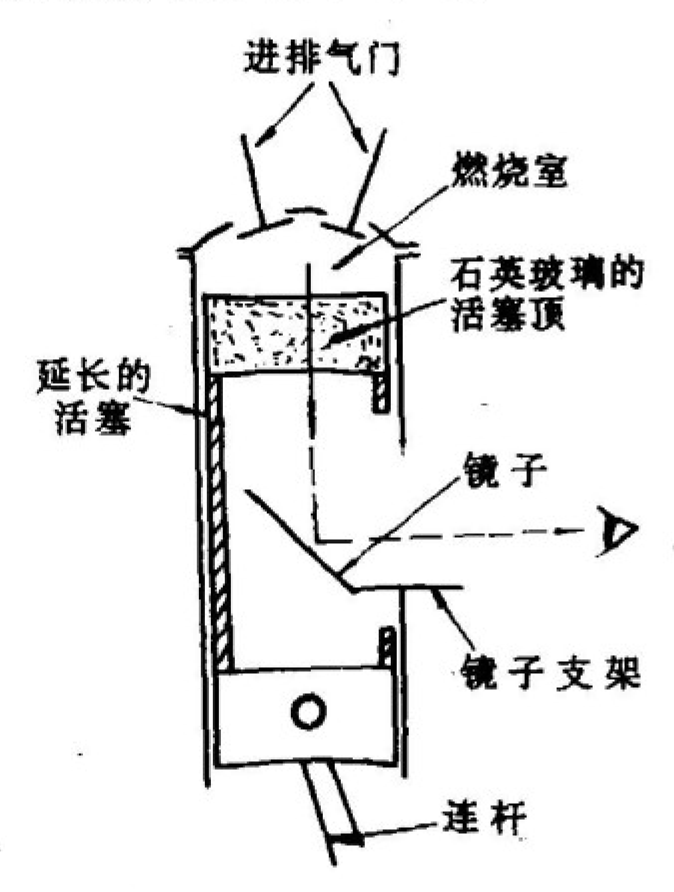


图23-2　鲍迪奇第一个从活塞下部观察燃烧室内部（1960年）。因为进排气门置于燃烧室上部的OHC方式得到普及，从上面观察，视野受到限制。日野是第一个成功地采用这种方式观察燃烧压力是汽油机的2倍以上的柴油机的燃烧状态（1977年）

之机。

采用两个火花塞的方式，除了提高可靠性以外，还抑制敲缸，故为后来的航空发动机所广泛采用。最近，也被用于提高燃烧速度，降低油耗（日产 NAPS）。

如前所述，柴油机去掉火花塞取而代之的是提高了压缩比，使气缸中的气体温度上升到 600℃以上，这时喷射燃油，使之自行点火。柴油机非常欢迎汽油机作为异己分子而十分讨厌的那些家伙，为了请它们自行点火，准备好了各种优惠条件。即从燃油喷射阀开始喷油的一瞬间就点火，火焰连绵不断地移至后来喷入的燃油上，以获得圆滑的燃烧。但是，如果自行点火延迟，全部的燃油都喷射完毕后再点火的话，燃烧室内的燃油一次突发性地燃烧，后果就严重了。

通常的柴油机，在喷射了喷油总量的 20%左右时发生自行点火，因此会发生轻微的敲缸。柴油机之所以有“吭吭”的响动就是这个缘故。在冬天的早晨，由于气缸中的温度低，难以发生自行点火，有时会发出很大的响动。

因而，具备使之难以发生敲缸和尽管不发生自行点火的辛烷值高的所谓高辛烷值的燃油，正是柴油机最讨厌的。柴油机喜欢辛烷值低的燃料。柴油机用油，以容易自行点火为目的，尽量使用十六烷值，而且，欢迎高标号的十六烷值，即低辛烷值燃油。在汽油机世界里不受欢迎的低能儿，在柴油机的世界里却成了宠儿。

集体的胜利

对于凯特林，通用公司总裁斯伦称赞地说：“他给公司的全体干部一个启示，要把我们的思考与想象引导到更高的技术走势上去，而引导我们认识到技术的发展是极其重要的。这是他对通用公司的重大贡献之一。”

凯特林还对后辈们说：“产业界是没有休息的。要不断地对瞬息万变的现象提出疑问。”下面，我介绍一点有关他的轶闻趣事。

传说1927年在林德伯格第一次横跨大西洋成功时，他的太太对凯特林说："多么了不起呀！所有的一切都是他一个人完成的。"于是，凯特林回答说："如果不是一个人，而是由大家共同努力的话，那么会取得更伟大的成就。"（照片23－3）



照片23－3 首次飞越大西洋的林德伯格的爱机 Spirit of Stlouis 号（福特博物馆）。难道孤家寡人的事业会伟大吗？靠个人奋斗不是技术的发展趋势，集体完成的事业会更加伟大（凯特林语）

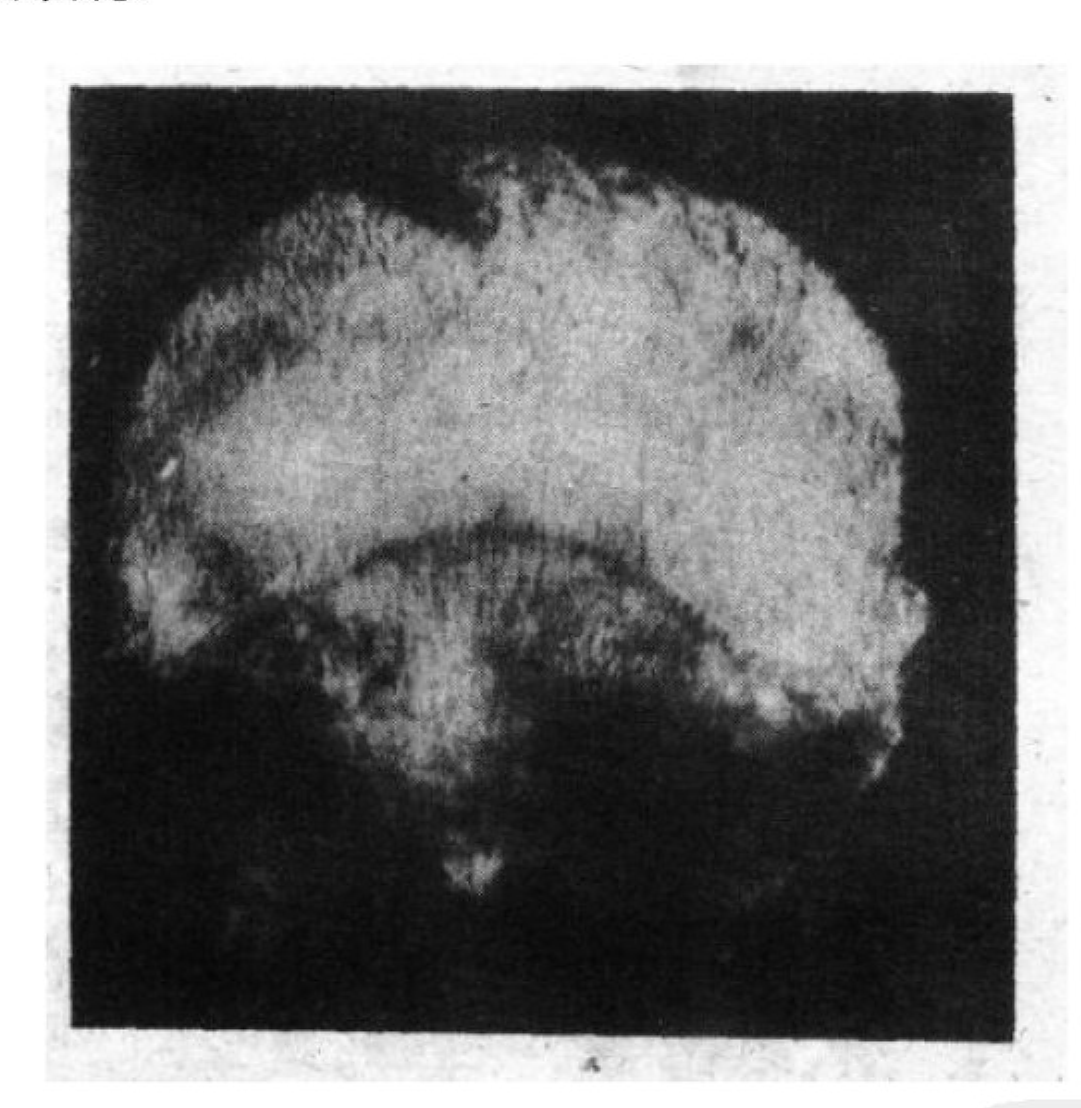
现代的科学技术分工越来越细，反过来作为系统的功能也越来越广阔。一个人不能成大业。无论开发一个车型还是一种机型，都需要许多人密切配合才行。试想解开敲缸现象之谜，提出相应的对策，乃是领导支持、集体配合，共同奋斗的凯特林小组的成功，它宣告了唱独脚戏的时代在近代科学技术领域中的结束，对此怎能不称赞呢？

敲缸就是爆震吗？

然而，对敲缸的研究在拉斯韦勒和威思罗之后还有许多人前仆后继地从事这方面的研究。由于使用高速照相机和高性能的设备，越来越得心应手了。拉斯韦勒的照相机每秒钟只能拍5千个镜头，而1949年美国NACA（国立航空研究所）的梅勒使用了每

秒拍 50 万个镜头的高速照相机，并运用纹影测量法来分析敲缸，发现由于末端可燃气体着火使气缸里存在冲击波（由于给予空气的冲击，使其前后的温度、密度和压力急剧变化的临界波，以高于普通音速的速度传播）。

人们把这叫做爆震。在最近的研究中，把激光用于高速照相机（准确地说是用激光图像）确认了冲击波的存在以及冲击波随着燃烧反应在未燃部分蔓延的情况，这的确是爆震。爆震的正确定义是指火焰在 1000～3500m/s 的冲击波下，保持化学反应能量所进行的燃烧。



照片23 - 4　发动机的敲缸现象。因为末端可燃气体点火所发生的冲击波(中央部分的山形为波形前端)在碰到燃烧室壁后反转过来，好象无视正常火焰的存在似的（根据丰田中央研究所提供的资料）

虽然不知道是谁最先提出把发动机的敲缸称作爆震的。但是，“爆震”这个概念是以发动机的燃烧如果由于某种原因出现了和试

管内实验中火焰突发性地以高速传播来定义的。因此当明白了其原因是末端可燃气体失火后，再以爆震来表达就显得不够恰当了。著名的利希泰（L·Li Chty）教科书已不再使用爆震这个字眼，而改用发动机敲缸，以有别于试管内的爆震。在发动机里，随同冲击波的燃烧反应，是在到达正规的火焰之后，仅冲击波在火焰中行进或碰到燃烧室壁后又反转过来的这种极其复杂的现象（照片23－4），如仍笼统地称作爆震恐怕不合适。那么正确的叫法应是否可以说是伴有部分爆震的冲击性燃烧呢？

24. 节能与坦克设计师

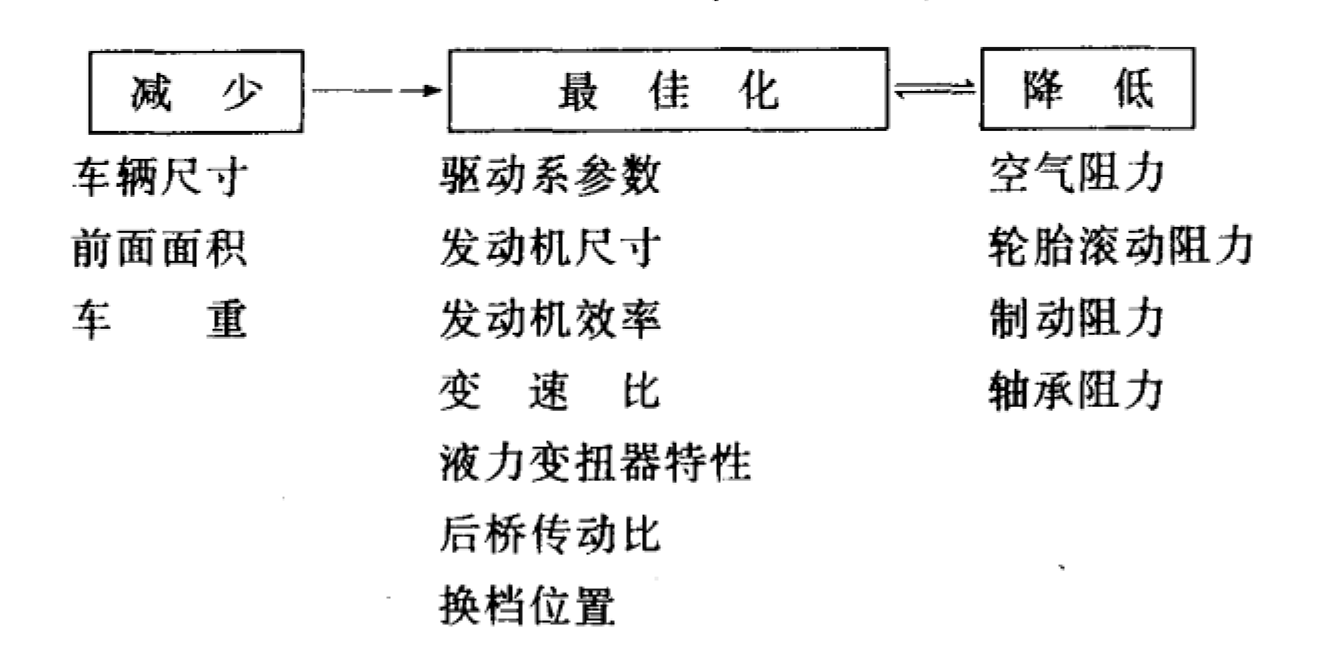
在石油危机中复苏的克里斯蒂构想。赤身裸体的构想，不包装唯有死亡。

x车的特点

为了满足国家限制汽车油耗的要求，美国各大汽车公司对日本和欧洲生产的低油耗畅销车进行了深入细致的研究。1979年美国通用汽车公司（GM）发表了革新后的节能轿车——x车，为此通用汽车公司投入了27亿美元的巨额开发资金，力图重新夺回市场，东山再起。

如图24-1所示，GM彻底、系统地分析了降低油耗的各种途径。其中最根本的是要实现轻量化、最佳化和减少各种损失。彻底分析和调查了如前提及的使月薪袋变轻的各个主要因素（参考图10-4）。例如，怎样根据机油温度来改变油面高度，从而把变速齿轮搅动变速箱内机油的能量损失降至最少等，作了细致的调查。

x车的最大特点是，以最小的车重获得最舒适的车室空间，采用了横置V型6缸发动机（有的车型使用直列4缸发动机）及前置发动机前轮驱动的所谓FF方式。由于采用这种方式，使x车的实际减重达360kg以上（x车的空车重量约1100kg）。但后来因汽车本身的缺陷等原因没有实现东山再起的愿望，并就此销声匿迹了。但前置横放发动机前轮驱动的布置方式却迅速地在全世界普及起来了。



减少各种损失

变速箱及液力变扭器的损失

发动机摩擦损失、发动机附件损失

动力转向装置　　发电机　油泵　水泵　V 型皮带

冷却风扇功率

加热器、空调机的功率

驱动桥的损失

图 24 - 1　降低油耗之技术方策

采用 FF 方式的问题所在

早在 1904 年，由美国人克里斯蒂（Jhon W·Christie）首次开发了 FF 方式（试制车是由曾为费尔德南皇太子设计乘车的格雷夫于 1899 年制作的）。其第一个目的大概是因为前轮驱动方式的车辆转弯（拐赛车的弯道）快。其中尤以 1906 年型车最引人注目。如图 23 - 2 所示，将巨大的排量为 45.9L 的 V 型缸发动机横置于车前面（x 车也是这样布置的），前轮出人意料地临时用螺钉固定在曲轴上。

阿沙里·霍曼这样描述道："从 V 型 4 缸的排气管里发出巨大吼声的克里斯蒂车就象在波涛汹涌的大洋中挺进的驱逐舰一般，在尘土飞扬中迅猛前进。在当时的汽车大赛中确是最撩拨人们激情的蔚然壮观。但可以断言，将其作为交通工具却是不会有

人喜欢那野兽般怒吼的车子的!”

后来又有几个公司尝试过FF方式，首先遇到的技术难题之一是前轮在行驶中的振动问题。据说就连有名的雪铁龙Big6型车在高速转弯时前轮也发生振动。日野在康特萨900发表之前，曾经推出了在当时具有划时代意义的FF宣传车“康玛斯”。但在该车的开发过程中，特别是为解决在坡路上的振动问题也是历尽辛劳（图23-3）。这些问题都 是因为操纵时前轮的等速万向节不能完全等速回转造成的。

总之，为充分发挥FF的优越性，必须进一步努力解决该设想所附带的各种问题，使其日臻完善。红花无绿叶扶衬，也不能争芳斗艳，对任何设想都需要理顺好与其相关的一系列问题。

世界上最早的4WD（4轮驱动）汽车是“兰鸟”牌汽车，也是克里斯蒂的1905年作品。

克里斯蒂后来从事于坦克设计。并且，其设计思想也是别具一格的。但把他的设计思想忠实地付诸实施的却是苏联。有关情况将在下一章里加以介绍。

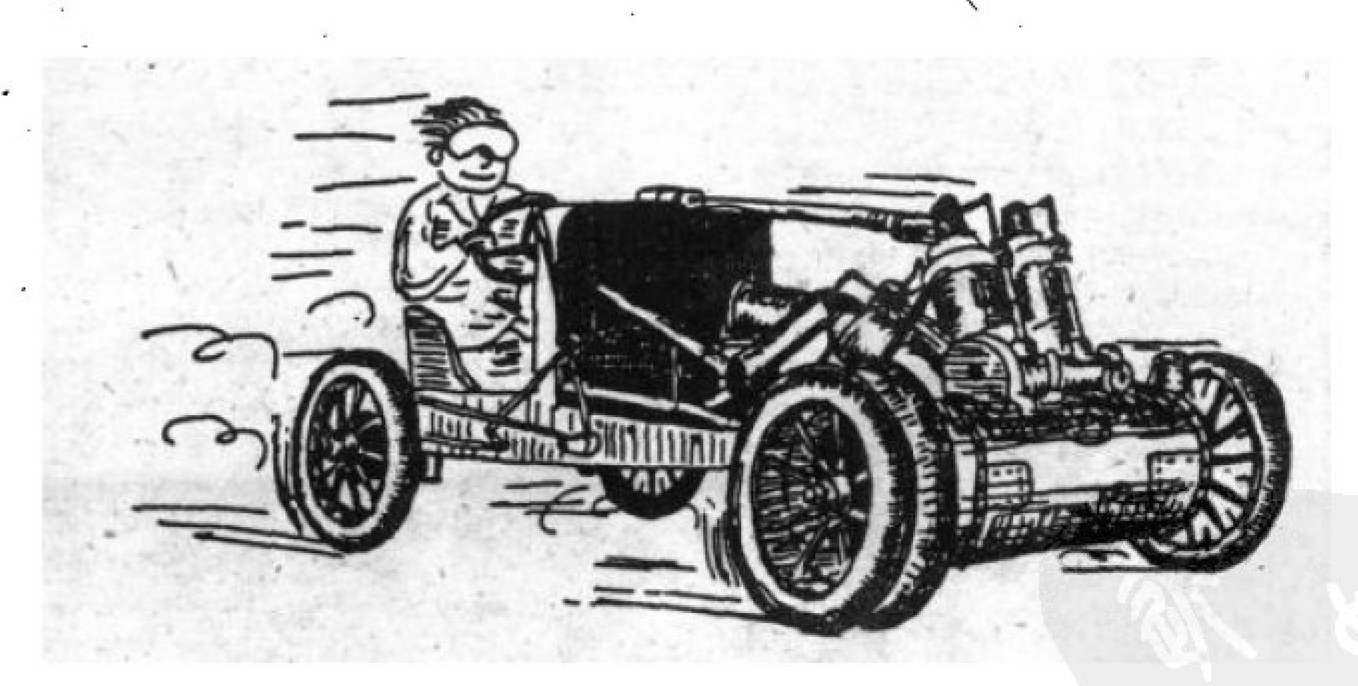


图24-2 克里斯蒂的前轮驱动车（1906年）。为减少转弯的驱动损失，克里斯蒂决心开发前轮驱动，还把跑道内侧的轮胎设计成双重的，努力减少损耗

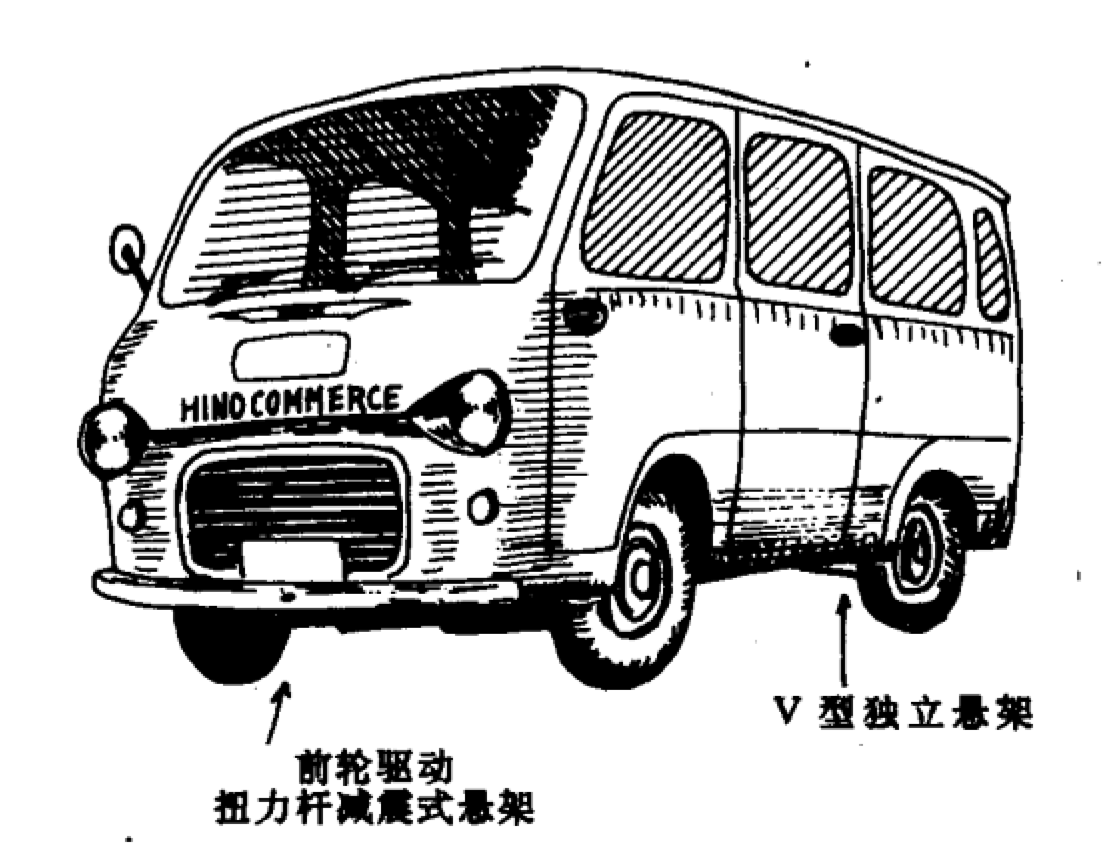


图24 - 3　日本FF的先驱——日野康玛斯（1960年），24hp、低地板、乘员2～10名，是一种构思新颖的汽车

25. 仿制挽救了苏联

借用克里斯蒂基本设想的柯西金。在动乱中仍潜心钻研，终获成功。

令人惊异的克里斯蒂坦克

在诺门坎，日军对突然出现的苏联的精锐的BT型坦克感到了张惶失措的情况已在前面叙述过了(参考图10-3)。这种BT坦克实际是FF的先驱者克里斯蒂所设计的克里斯蒂坦克的仿制品。

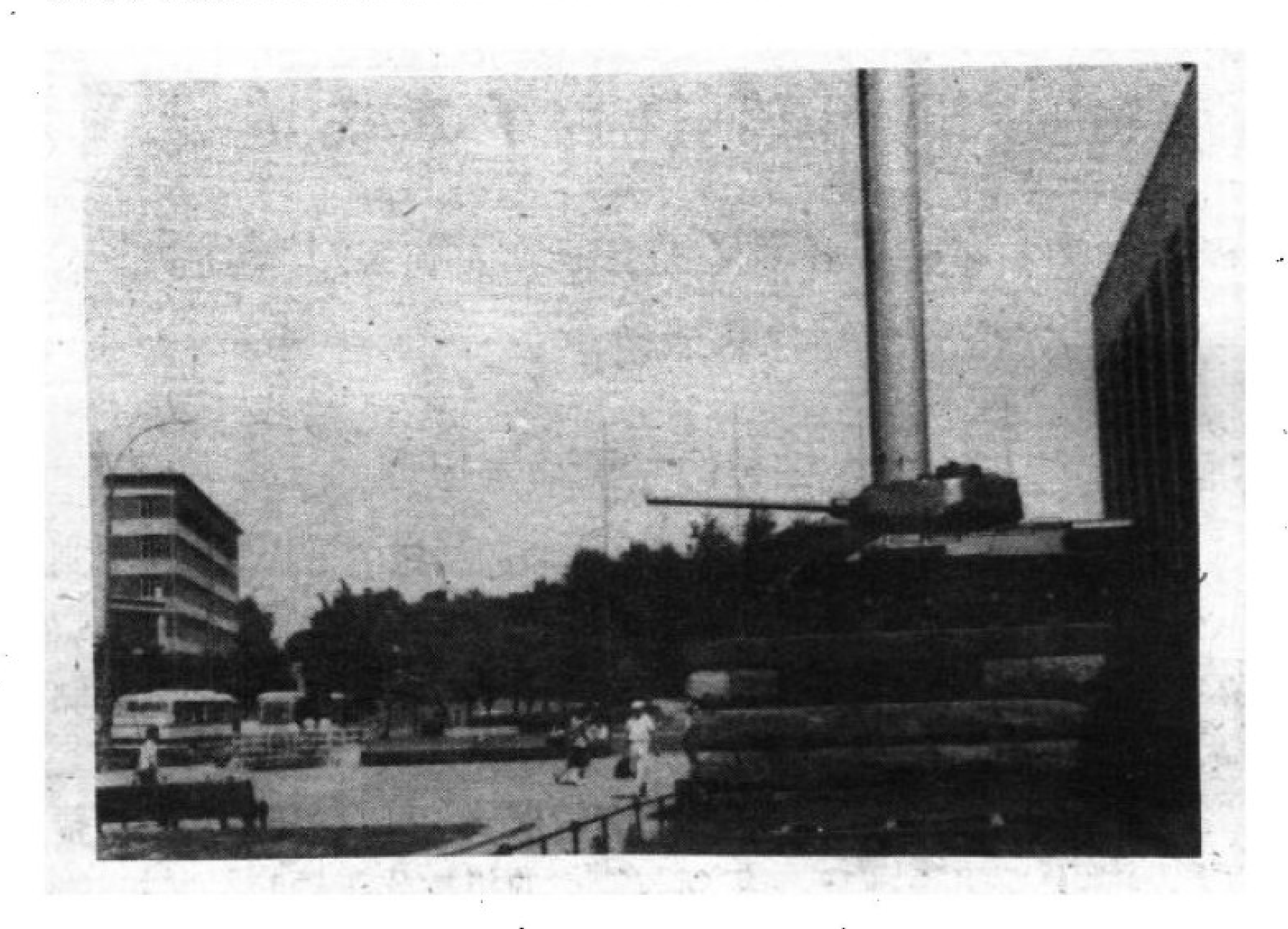
1931年苏联政府购进了两辆克里斯蒂10吨坦克。克里斯蒂从第一次大战期间的1916年起与陆军的机械化车辆有了联系，克里斯蒂坦克是他长期思考与试制的最终作品。

构成克里斯蒂思考中心的是速度，有了速度就能包围敌人，抄袭敌人，还能先于敌人进入要塞。因此，要确保其卸下履带情况下一般道路行驶时的速度为130km/h，装上履带的时速为64公里。这种速度优先的思维方法，显然多半超出了坦克官兵们的理解。在考虑坦克只起掩护匍匐前进的步兵的时代里，就能在脑海中勾勒出未来坦克战的悲壮场景和德苏战争期间展演在苏联平原和在北非战场上的坦克车大战，可见克里斯蒂的构想是何等非凡。诺门坎事件时日本陆军的89型坦克的最高时速只有26公里。

在世界的冷眼相待之中，一位具有远见的苏联陆军军人却在拼命地仿制克里斯蒂坦克，终于使之出现在诺门坎战场。虽然日军一时对它束手无策。但苏军对日军的燃烧瓶似乎也感到很棘手。

仿制克里斯蒂坦克的是米哈依尔·柯西金。他在诺门坎战役后不久，就将易燃的汽油机改为难以燃烧的柴油机。并且，该坦

克不久就发展成被誉为二战中最优秀的 T34 型坦克。



照片25－1　导致苏联胜利的光荣的 T34 型坦克。现在自豪地陈列在莫斯科战争博物馆的门前。与抢先夺取市场的著名设计师柯西金一起功绩永存

T34 型坦克崭露头角

1941 年 7 月，即在日本偷袭珍珠港的前 5 个月，东部战线的德国装甲部队望见突然出现在面前的 T34 型坦克而魂飞魄散，惊恐万状。道格拉斯·奥吉尔这样描述道："这时，一辆从未见过的蹲式苏军坦克突然从玉米地里露出了头，几辆德军坦克马上对它射击，炮弹打在苏联坦克的大炮塔上又弹了回来。苏军坦克开始沿着乡村小道转弯，在小道尽头，37 毫米口径的排击炮瞄准了坦克，德军的炮手们向逼近的坦克开炮了，但是苏军坦克根本不予理睬地直驱闯入德军陆地，那宽阔的履带把排击炮弹碾压在泥土中。"（照片 25－2）。



照片 25－2　钻出树林，突然出现的 T34 坦克使德军惊恐万状

在苏德战争最激烈的时候，出现的 T34 型坦克与装有汽油机的德军坦克相比，具有不易着火，油耗少，连续行程是德军坦克的 3～4 倍，速度快等优势。在辽阔的苏联平原上横冲直撞，使苏联赢得了战争的胜利。苏联的坦克除了吸取了诺门坎战地教训作了改进以外，还注意收集了 1927 年以来在英国举行的机械化部队的军事演习情报。并且，作了很有见解的分析、研究。重点放在强化对付坦克战的火炮及其配套的装甲上。

图 25－1 示出被誉为坦克先进制造国家的德国与苏联的装甲板厚度的变化。从图中可以看出，此后苏联坦克的品质总是比德国的高一筹，从这张图也可以看出，苏联红军的“肃反”是从 1937 年开始，持续到 1939 年。在托哈丘夫斯基将军等一些有远见的军队干部全部被肃清期间，以柯西金为首的技术骨干们仍然默默地钻研。待肃反结束时，精锐的 T34 型坦克便研制出来了。

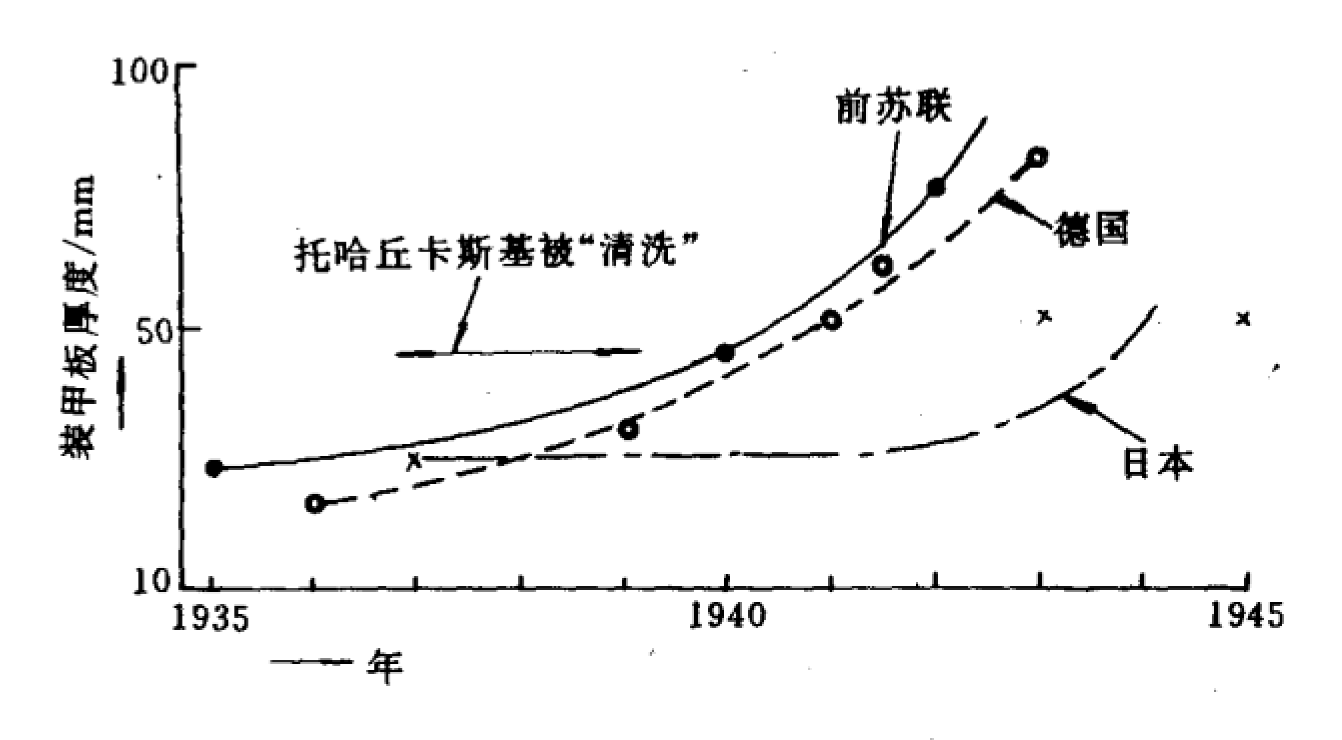


图 25 - 1　中型坦克装甲板厚度的变化

日苏技术力量之差距

装在 T34 型坦克上的柴油机是由 J·毕克曼和 T·兹巴汀设计的。据说发动机是模仿菲亚特的航空发动机。但是，T34 型坦克的开发过程如图 25 - 2 所示，先选出优秀的设计范例，以之为基

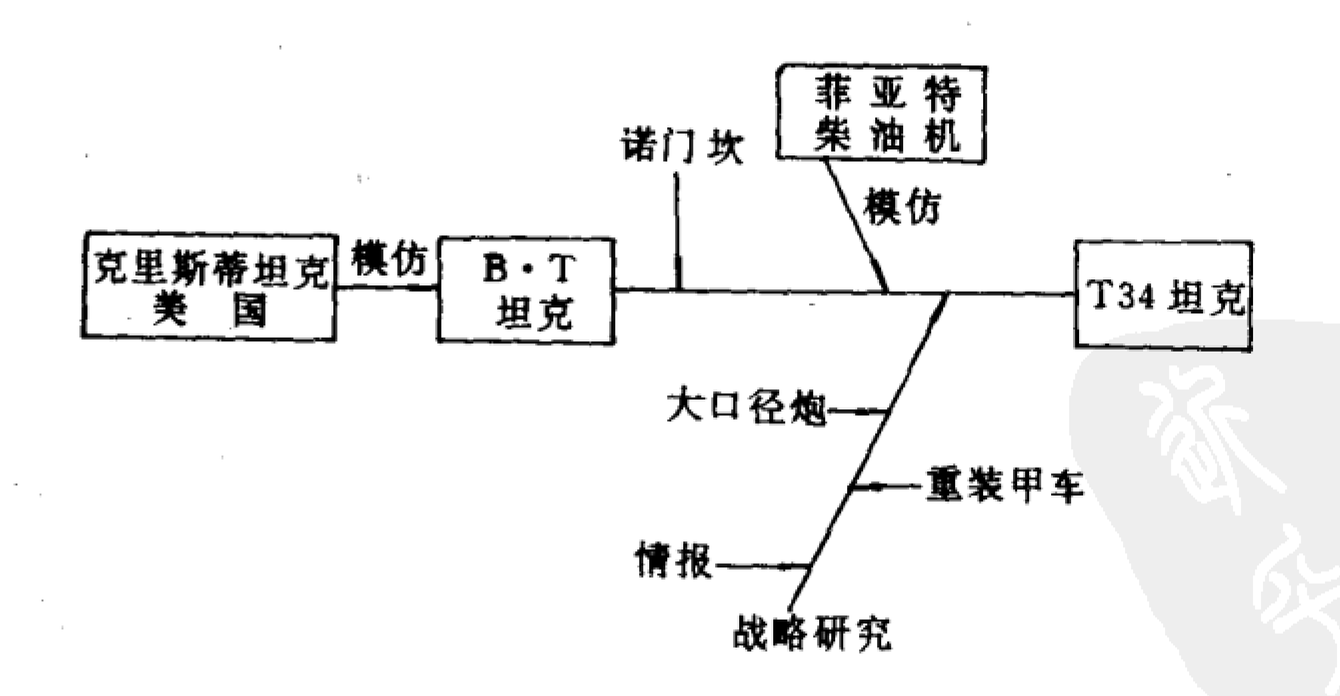


图 25 - 2　T34 型坦克开发过程

础，迅速收集战场需求，再把有参考价值的产品设计巧妙地揉进去，从而开发出自己的产品。这种开发过程很值得设计人员借鉴。

D·奥吉尔评价说："T34 的出现多亏了能够预见 20 世纪战场战势的人们，它的诞生不是靠天才的火花，而是健全的常识的产物"。

与迅速吸取诺门坎战役教训的苏军相比，日军的情况如何呢？日本人显得麻木，行动迟缓。对日本坦克界了如指掌的加登川幸太郎先生评价说："用兵当局就坦克的使用而言，浑浑噩噩，既无带头的，也无打屁股的。兵器研究受满洲事变的影响，一蹶不振。"他还感慨地说："75mm 口径坦克炮的开发，可谓悠闲自在，慢腾腾地花了整整 5 年时间。"

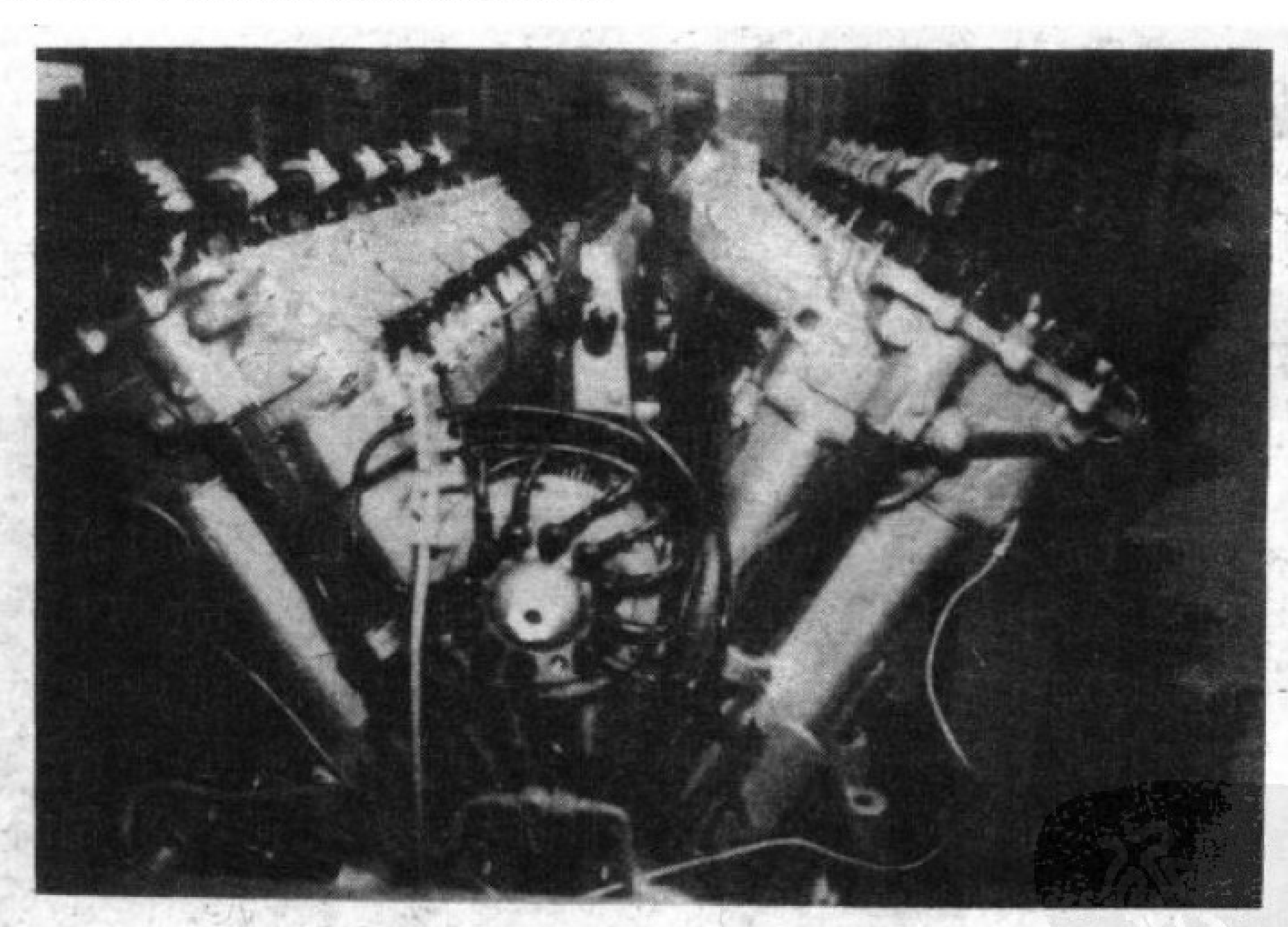
日本虽然没有开展开除托哈丘夫斯基那样的肃反运动，但研究活动却一度中断。而苏联的研究工作在肃反天下大乱的情况下竟然雷打不动。这难道不是彼我在意志、钻研精神和积极进取方面的差距吗？

26. T34 型坦克之谜

按照使用目的处理生产的技术班子与灵活的品质管理。1930 年的克格姆事件。

出色的苏联技术阵容

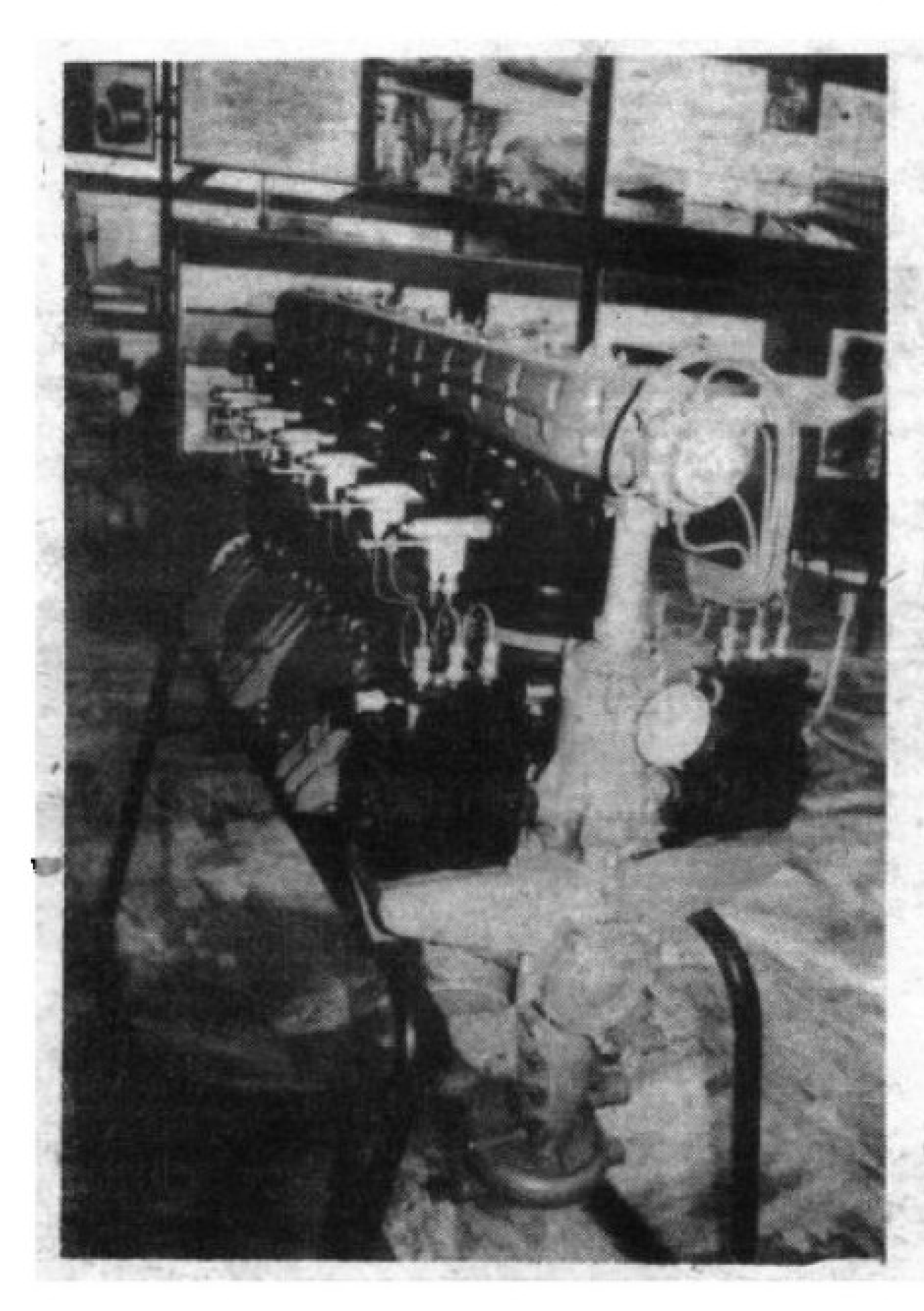
从悲剧的豪华轮泰坦尼克号首次也是最后一次出航地南安普敦往西，有一个博宾格顿坦克训练基地，分解了的 T34 型坦克完好地陈列在该基地的博物馆里。



照片26 - 1　T34 型坦克用 B2 型（或 V2 型）柴油机，正面的分配泵是直接向缸内喷射空气用泵（坦克博物馆）

被称作菲亚特仿制品的 T34 型坦克 B2 型（也称作 V2）的柴油机也陈列在这里。该机在当时就有极高的水平，令人震惊。如照片 26 - 1 所示，该发动机为 V 型 12 缸的双顶置凸轮轴

(DOHC)，在V形夹角中的分配泵是向缸内直接喷射空气用泵，是为冷起动时给缸内供应压缩空气、提高压缩比和压缩温度用的起动装置。该装置明显是菲亚特的仿制品，但已被同化。布置在发动机中间的喷油泵是德国负有盛名的罗伯特·博世型12缸用泵，苏联制造得相当出色。



照片26-2 菲亚特AN1航空柴油发动机（1930年）起动用压缩空气分配泵与T34型坦克的B2型的方式完全相同。缸径×行程＝140mm×180mm，6缸，16.6L，AN1侦察机用（菲亚特博物馆）

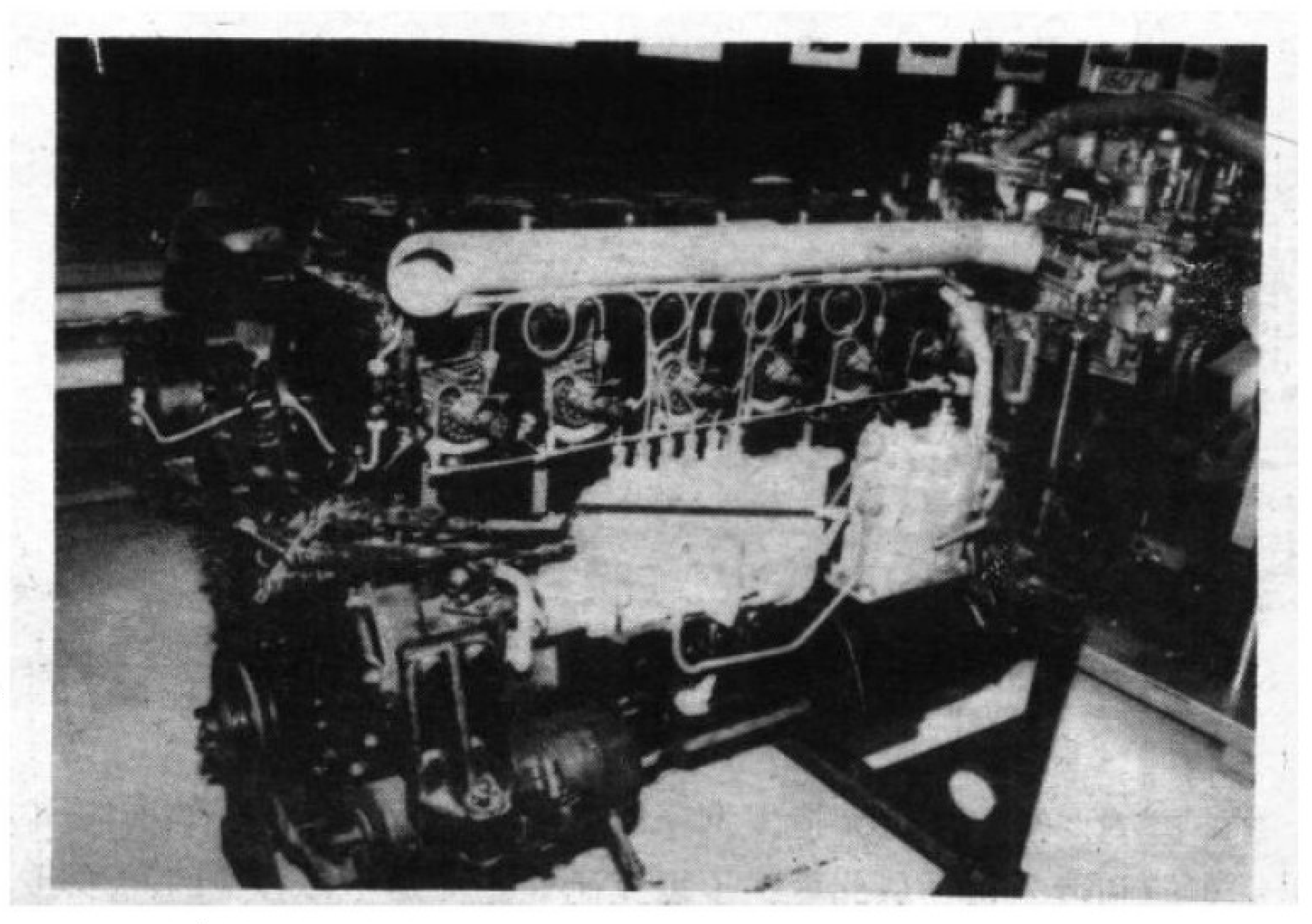
当时，柴油机发祥地——德国的坦克装的却是梅巴哈的汽油机，连续行驶里程的差距是非常明显的（照片26-3）。写到这里，突然感到传说希特勒要求日本赠送坦克用柴油机的轶话带有真实性。希特勒渴望得到的发动机就是现在的日野等厂家制作过的统



照片26－3　T34是优秀的坦克。一个晚秋的午后，太阳即将西落，一位中年绅士凝视着T34型坦克。他是原德国坦克兵夏特尔。他说："这家伙装上了柴油机能跑300多公里。我们的坦克装汽油机跑150公里就短气了，这家伙不错！"（维也纳军事历史博物馆）

制式100型发动机（照片26－4）。仅从资料上看，苏方的油耗要比日方的油耗少得多（附录A26－1）。从保存下来的实物来看，其制造工艺也十分精湛。那时苏联的坦克产量在1943年就已经达到24000辆以上。这是设计技术部门和生产工艺部门密切配合的结果。

当时，日本能把20mm厚的渗碳钢板铆焊连接起来就很满意了。而苏联却已采用大型压力机咣当咣当地冲压45mm的钢板或者采用50mm以上的铸钢制装甲了。对于通常难以解决砂眼的铸钢制的炮塔，在其前部因容易被敌人炮弹击中而不准有砂眼，而



照片26 - 4　为原日军所大量采用的 100 型柴油机从直列 6 缸、130hp 到 V 型 12 缸增压、300hp 的各种型号

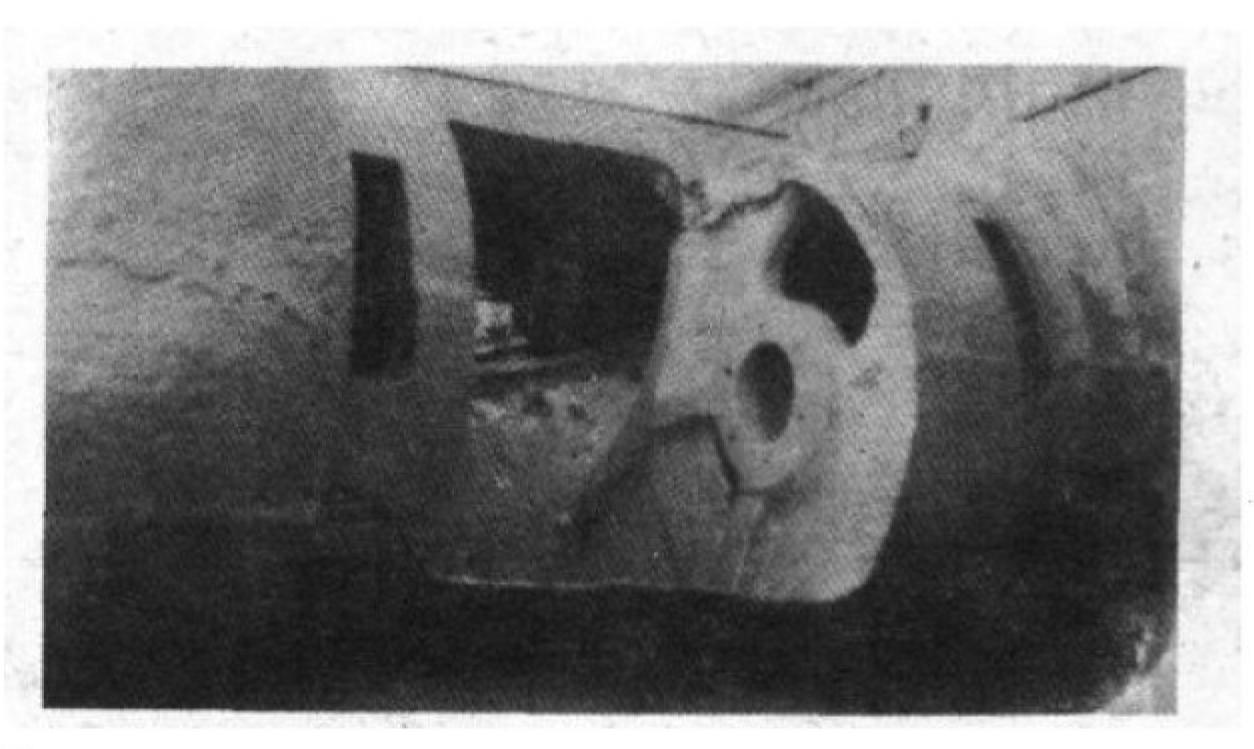
在炮弹打不到的后面则允许有较大的砂眼（照片 26 - 5）。这种超越设计需要的措施与工艺，确实令人折服。头脑僵化的人是搞不出这样灵活的品质规格的，会把有砂眼的全部报废的。

因此，日本的坦克产量，在峰值的 1942 年大约只有 1300 辆。

克里斯蒂坦克为什么被卖掉了呢？

由克里斯蒂坦克发展而来的 T34，要比美国的谢尔曼坦克优秀，这一点是被公认的事实。因此，1950 年朝鲜战争中，联合国部队被打得落花流水，一直被赶到半岛的边沿。那么，克里斯蒂坦克为什么被卖到了苏联呢？如果在现在的话，就会发生违反 CCM 规定（巴黎统筹委员会：限制向社会主义国家出口先进技术与设备的机构）（照片 26 - 5）。

克里斯蒂（J. Walter Christie）在 1915 年，一次大战期间，根

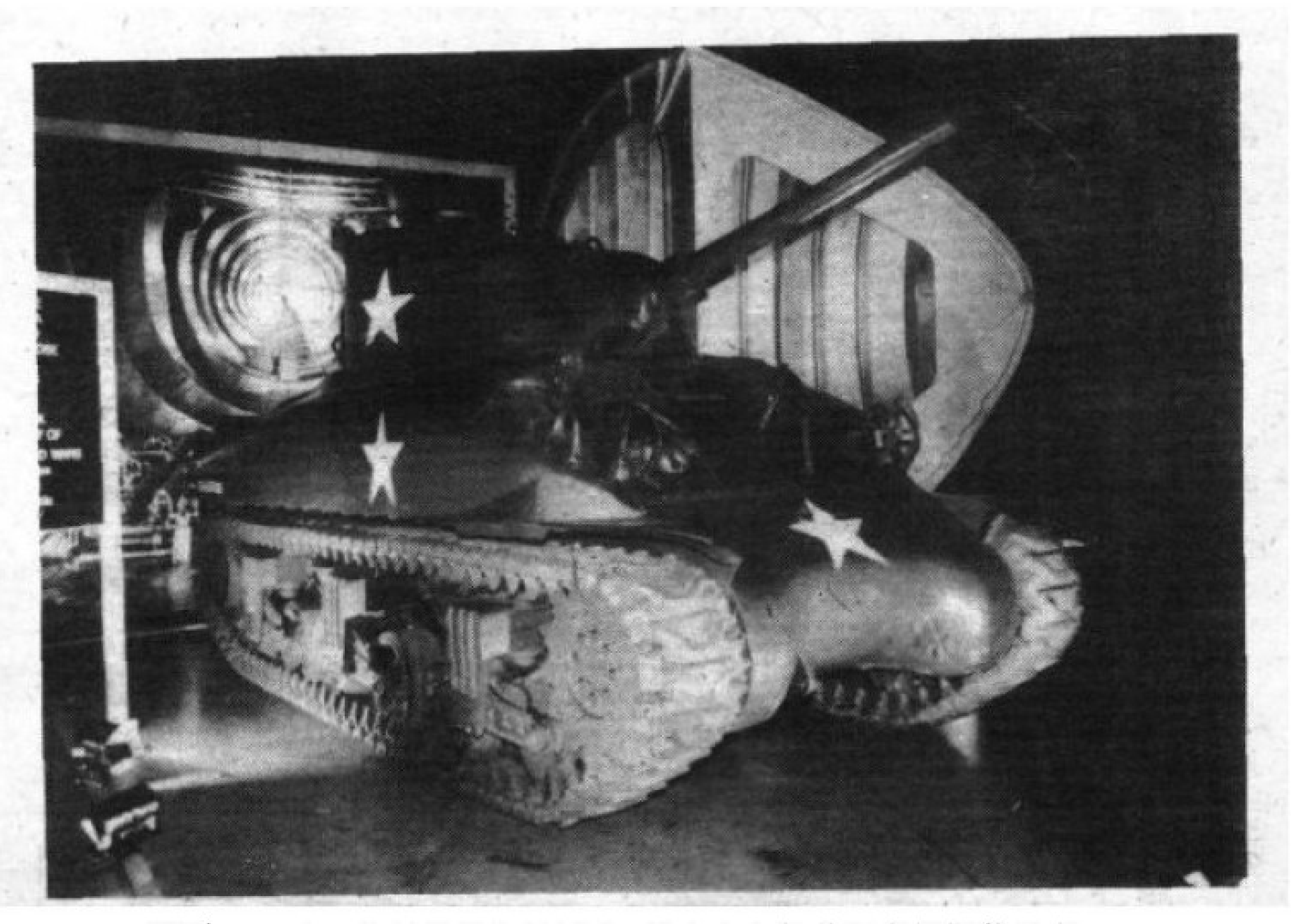


照片26－5　T34的铸钢制炮塔。在易遭炮弹轰击的前面，不准有铸钢上常见的气孔。但在内侧却有直径长达20mm的气孔。根据使用目的制订质量标准，教条主义的质量管理就行不通（坦克博物馆）

据军方的要求，决定制造大炮牵引车，关闭了自己心爱的前驱动汽车的制造公司，从此埋头于坦克研究。但是，尽管他的高速坦克和后来制造的水陆两用车都显示出令人满意的试验结果，可是顽固的军方就是不接受。这段时间，自1919年克里斯蒂与军方的第一次会同试验以后，直到1930年他呕心沥血研制的那么多坦克，军方只买了8辆1923型的坦克就完事了。并且，他制造一辆模型就花费了35000美元，因此8辆坦克开价约83000美元，而军方回复说只准备给15000美元。克里斯蒂闷闷不乐。先是波兰政府趁机与他接洽，给出了每辆3万美元，制造权9万美元的条件。

苏联也趁一直交厄运的克里斯蒂与美国军部交涉的空档，以每辆55000美元的价格，把拆除大炮的克里斯蒂坦克按农用拖拉机的名目买去了。1930年12月24日圣诞节前夜，满载两辆堪称世纪产品的轮船离开了纽约港。

该"拖拉机"装有依斯帕诺·席扎V12缸750hp的航空发动机，连续行驶里程达320km以上，与后来的T34型基本上一致。另外，B2型发动机，也许是心理作用，我总觉得看上去它象依斯



照片26-6 美国的谢尔曼坦克。被由自家的美国克里斯蒂坦克发展起来的苏联T34赶到了朝鲜半岛边沿（帕顿博物馆）

帕诺。

虽然犯了大错误，但不出卖灵魂的克里斯蒂

在这期间，日本也派大柿少校与克里斯蒂接触。日本人虽然非常渴望购买克里斯蒂坦克，但克里斯蒂讨厌日本人，没有答应。

如上所述，苏联的克里斯蒂坦克演变成BT（快速坦克），又发展成T34，把德军装甲军团打得落花流水。对东部战线德军的失败十分惊愕的希特勒得知T34的原型是克里斯蒂坦克时，马上派一名叫斯延恩（Stinnes）的密使去克里斯蒂那里。他以100万美元的高价邀请克里斯蒂乘坐他的快艇去德国，指导制造坦克。传说克里斯蒂当时对他儿子说："我把坦克卖给苏联本身就已经是大错特错了。美国陆军对我所犯的错误没有追究责任。卖掉了灵魂，剩下的就只有躯壳了。"



照片26－7　1941年型克鲁塞坦克·克鲁萨德MKⅠ。克里斯蒂悬架的车轮配置与T34相同，但因火炮威力差而失败（40mm炮）。发动机：NuffieldLiberty MKⅡ12水冷汽油机，340hp（南非战争博物馆）

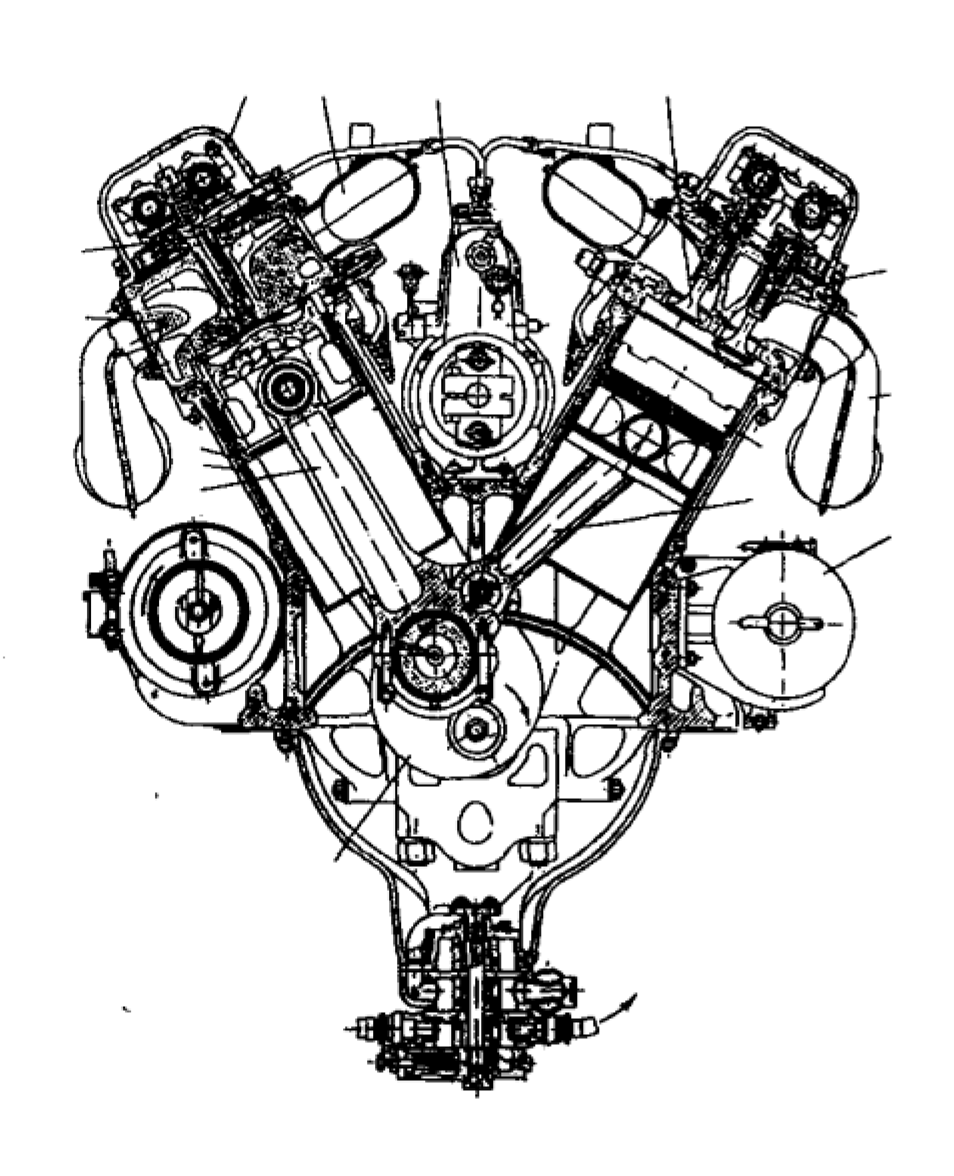
另一方面，克里斯蒂坦克1930年型由英国的毛利斯汽车公司生产，后来发展成克尔查A13型坦克（照片26－7），在南非战场上，与隆梅尔中将指挥的德国装甲军团对垒，但发展规模远不及T34。造成这种差距主要在于对坦克的基本概念和理念之差。但与柯西金指导有方不无关系。

克里斯蒂后来着眼研制空中坦克。他的助手就是上面提及的塔克。克里斯蒂的空中坦克就是可用飞机运输的轻量坦克，后置发动机方式。可以看出这和塔克沿袭了后置发动机的背景有关。

附录A26　T34坦克用B2（或V2）型柴油发动机

该发动机是铝合金制的直接喷射式、60°夹角的V12缸、缸径

150mm，行程 180mm（主连杆式的）和 186.7mm（副连杆式的）。连杆配置如图 A26 - 1 所示的副连杆式，其排量为 38.8L，4 气门



图A26 - 1　B2（V2）型柴油机油泵和水泵都在发动机下部。考虑了即使在异常条件下使用也不致于出现致命损伤

式，喷油阀布置在气缸中央。500hp/1800r·min^{-1}，最高转速为 2000r/min，升功率为 12.9hp/L。令人感到惊奇的是，该机油耗仅为 170g/（hp·h），日本的柴油机到 70 年代才达到这个水平。水泵和机油泵都布置在发动机的最低位置，以便把供油不良等故障控制在最小限度。相比之下，当时的 100 型空冷柴油机为预燃烧室式，虽然详细情况不了解，但估计油耗恐怕在 200g/（hp·h）以上。100 型发动机的参数如下：缸径 120mm，行程 160mm，6 缸型为 120hp（11hp/L）。系列中最大的是 V12 增压型（试制品）为 300hp。不过，值得一提的是，它是空冷发动机，尤其是从热负荷高的预燃烧室吸入式的冷却是绝妙的设计（参考照片 26 - 4）

27. 星型发动机的浪漫（1）

使星星运转的非凡设想。格诺姆与罗纳联谊，双方退让，终成大器。

何谓星型发动机

哪家公司都有新职员的现场实习，日野汽车公司也是一样。实习结束后，我被分配到设计部。一天，在制图室里，我沉不下心看图纸，四处转悠。这时我发现了陈旧的星型柴油机设计图。所谓星型发动机系指将气缸排列成放射状的发动机（参考照片 27-2）。并且，该设计图是水冷式的，不是星型发动机常常采用的空冷式的。该发动机在二战中是计划装用在陆军的快速登陆艇上的。

采用星型来表达气缸布置形式颇有点浪漫，因为英语的 Radial Engine 就是辐射型发动机的意思，完全是机械的名字。为该机取名为星型的人的丰富的想象力令人折服。遗憾的是，此人不是日本人，可能是法国人。法语的 Moteur enétoile、德语的 Stern-Motor 都是星形的意思。星形发动机最早源于法国（后述）。

星形发动机现在几乎不见踪影。但是在一次大战中爆发性发展起来，即使到了二战时期，主要的航空发动机大致分为空冷星型（用空气冷却的星型发动机）和液冷 V 型（靠水或冷却液冷却的气缸布置成 V 型的发动机）。到了大战末期，在大功率范畴里，空冷星型独领风骚。在战后的一段时间里，它与喷气发动机并驾齐驱了好一阵子呢。

但是由于除了飞机以外的其它使用场合已不需要这么大功率的发动机，此外匹配也较不方便，因此就毫不犹豫地舍弃了。但是围绕着星型却曾有过许多梦想。

日野和通用展开了开发竞争

首先，从埋没在图纸室角落的日野的梦想来追溯一下。1942年前后，按照陆军的旨意，武藤恭二技师（后来成为日野汽车销售公司总经理）负责制订了水冷星型7缸、80hp柴油机的计划。陆军特别严格地提出质量要轻，包括反向装置质量在内，要求4个

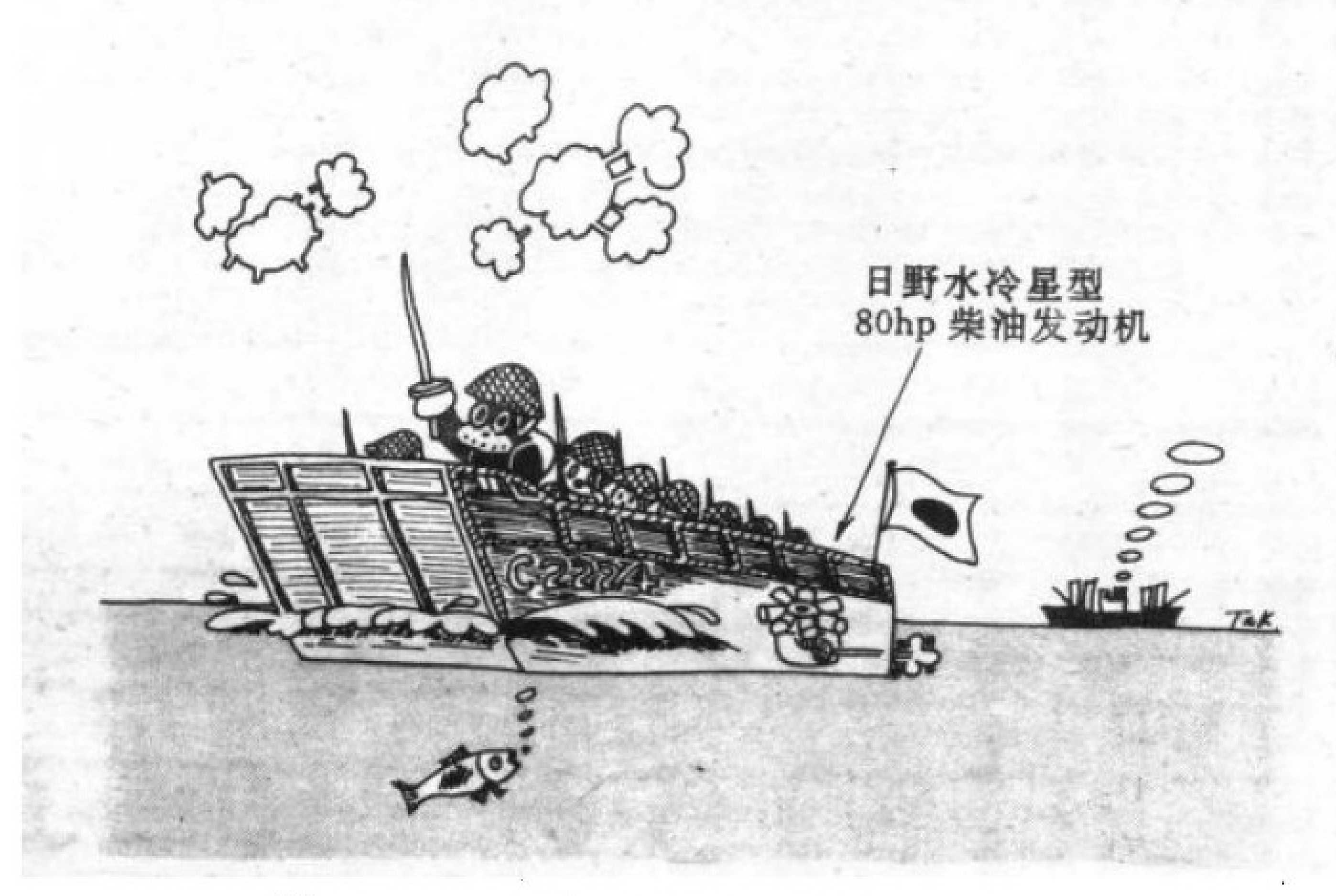


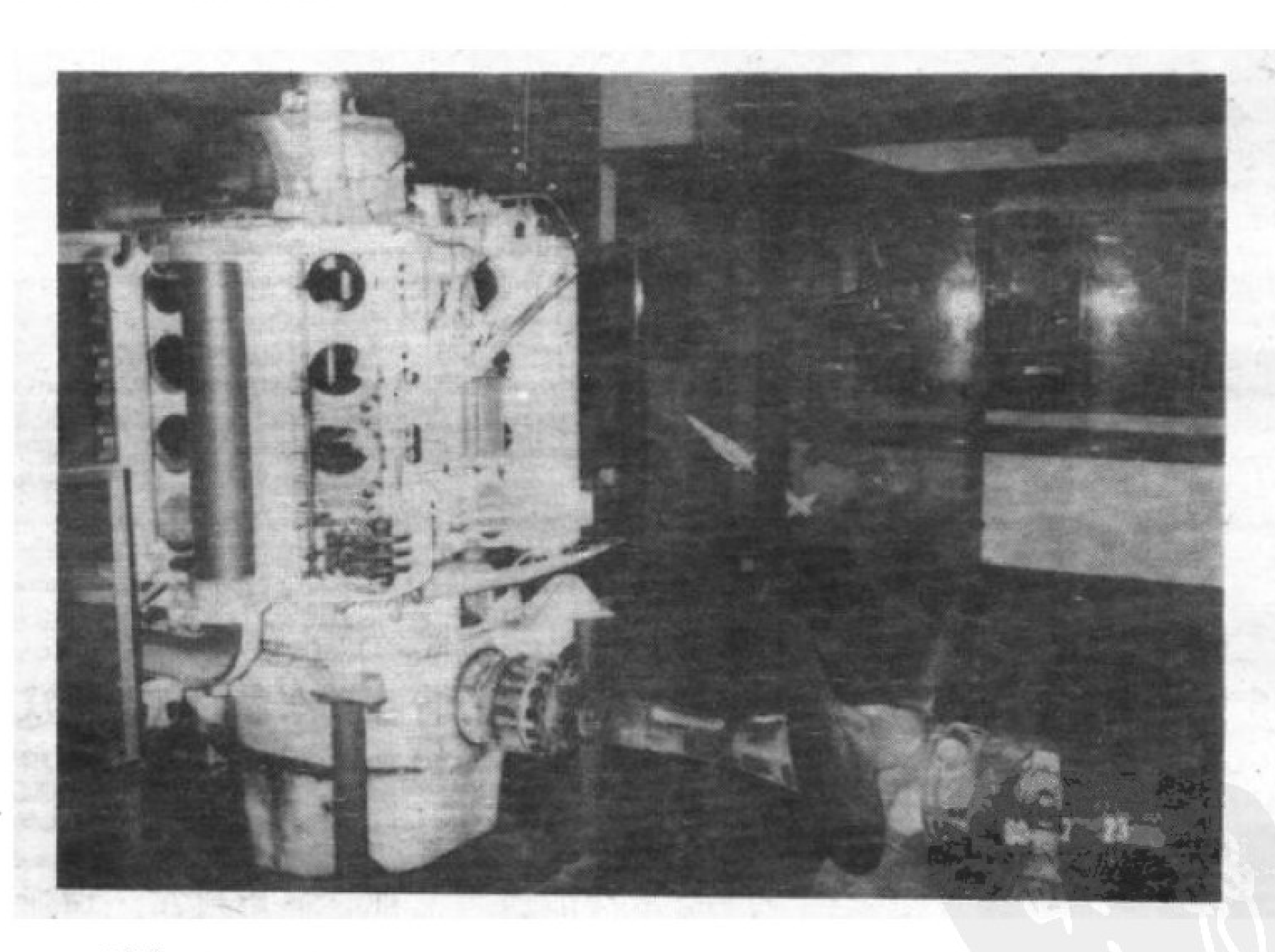
图27-1　日野水冷星形发动机计划用于登陆艇上，为使星星在海上浮起

士兵能将其分解搬运，不得超过200kg。为此，使用了大量的铝材。如图27-1所示，这是将发动机水平地布置在登陆艇的底部很浅的床面上，驱动螺旋浆式的发动机，布置得相当巧妙。我想如果搞成的话，肯定会成为世界上标新立异的产品。

然而，在美国也曾有完全类似的设想。那是通用汽车公司研制的4列星型，即16缸、1200hp、轻量、紧凑、用来对付日本潜水艇的猎潜艇用的发动机（照片27-1）。在太平洋两岸，尽管开发规模有些差异，但彼此都为了使星型浮在海面上而对峙着。

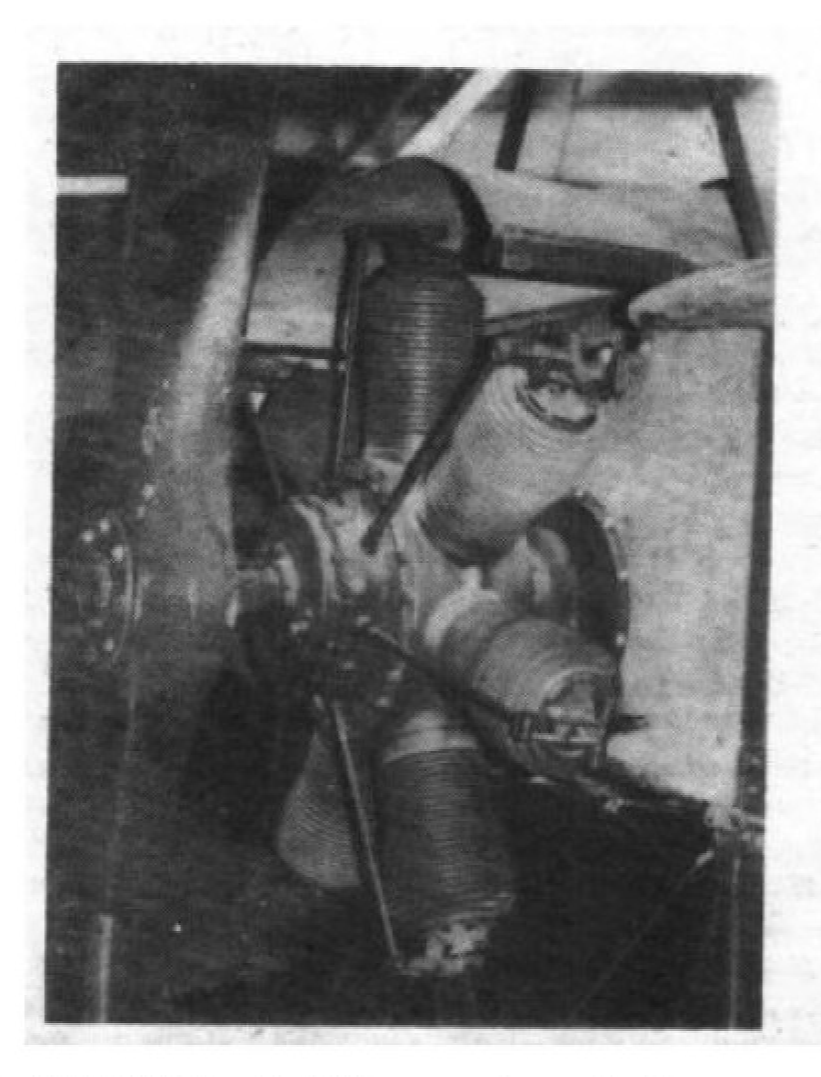
格诺姆发动机的成功

星型发动机本来是作为航空发动机发展起来的。正如首次横跨多佛尔海峡的普雷里欧的安托尼空冷发动机为过热而烦恼一样，初期的空冷发动机的冷却是不充分的。于是，出现了使发动机与驱动系一起转动，以增加冷效率的结构，那就是1909年研制具有划时代构思的格诺姆（Gtnome）发动机（照片27-2)。该机是劳伦特·塞根（Laurent Seguin）与其弟的作品。当初是作为国际汽车大奖赛的赛车用发动机研制的，称之为回转式发动机，由于解决了冷却问题，因此曾风靡一时，成为第一次大战中的明星发动机（参考附录A27-1)。



照片27-1 通用汽车公司制4列星型潜艇用柴油机。螺旋桨可自由转动，也能反向，1200hp/1800r·min^{-1}，2200kg（卸下活塞后，可看到4缸的星型是4级叠加式排列的（美国海军美茅利阿姆博物馆）

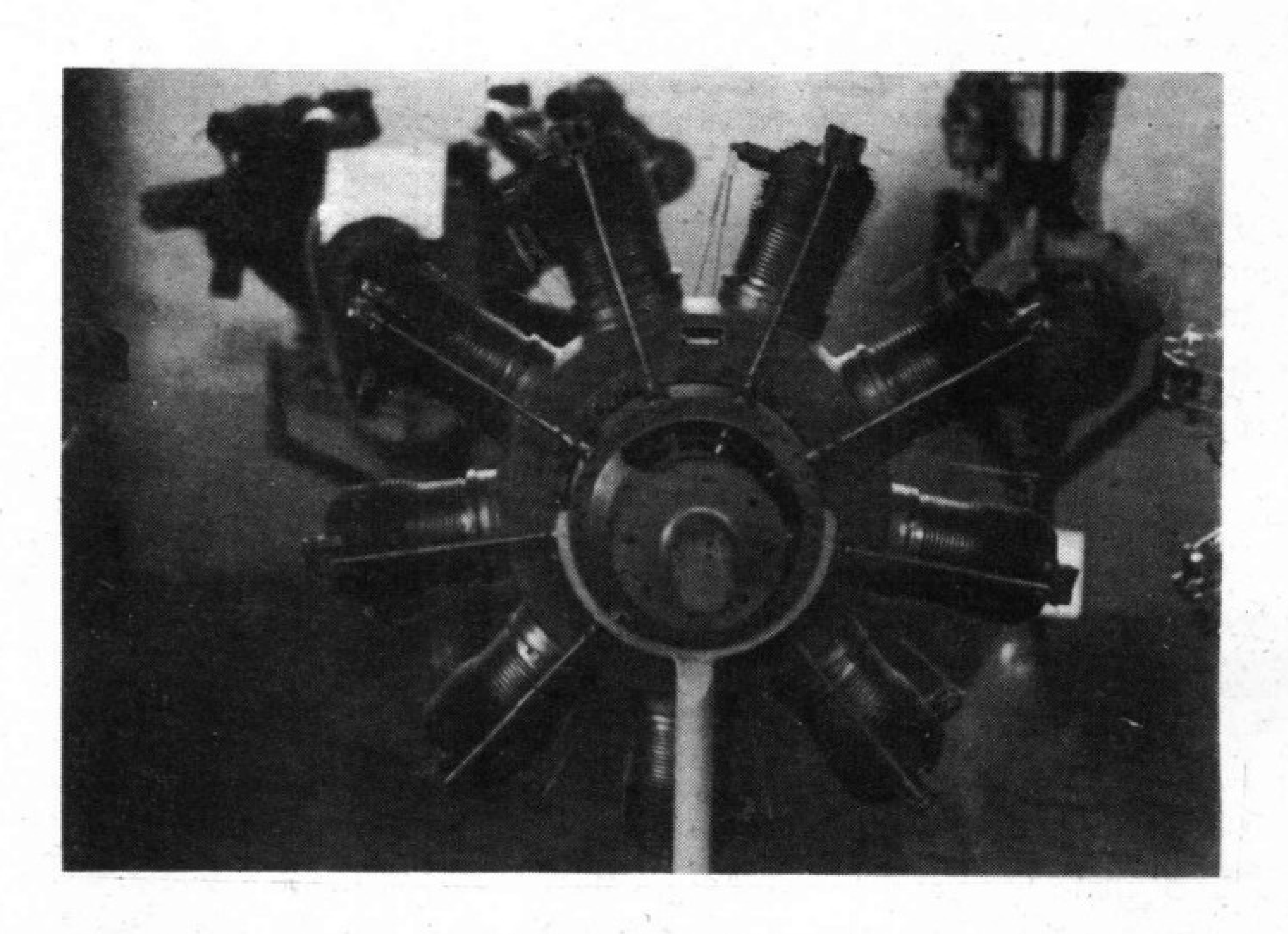
格诺姆发动机的成功，导致类似的发动机在德国、英国、日



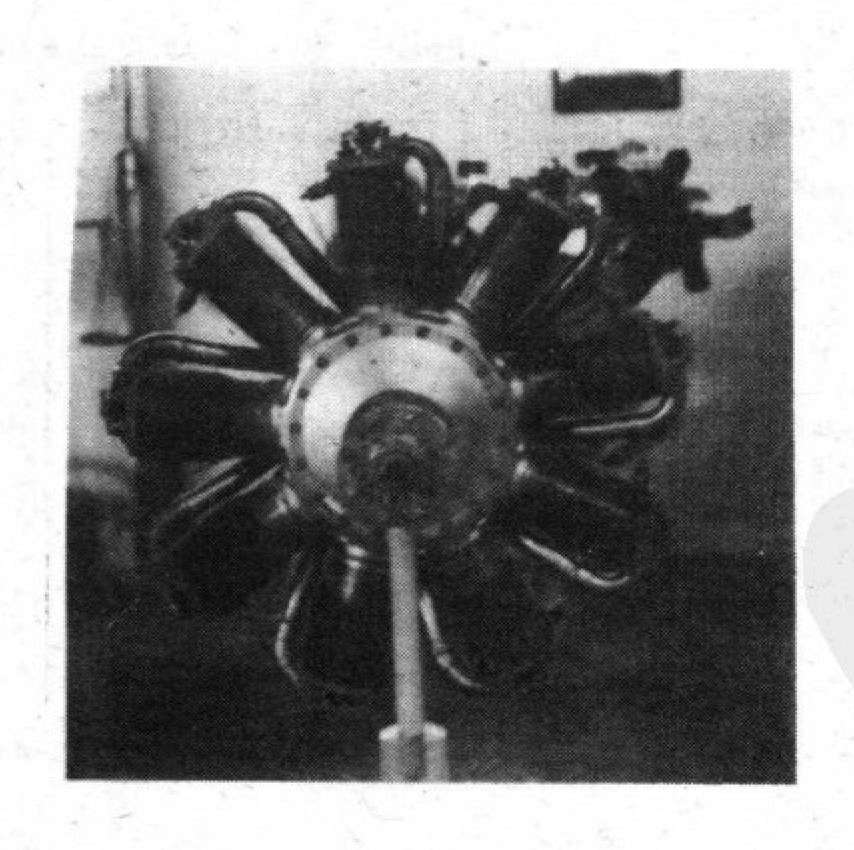
照片27－2　格诺姆50hp发动机（1909年）。发动机与驱动轴整体式的，螺旋桨与发动机一起转动。装在安里·法尔曼Ⅱ型双翼机上，首次试飞其优越性就得到认可（姆毕兰德航空博物馆）

本以及法国竞相研制。如英国的本特利、德国的西门子、法国的罗讷等。日野汽车公司的前身——东京瓦斯电气工业股份有限公司也生产了罗讷发动机（附录A27－2）。

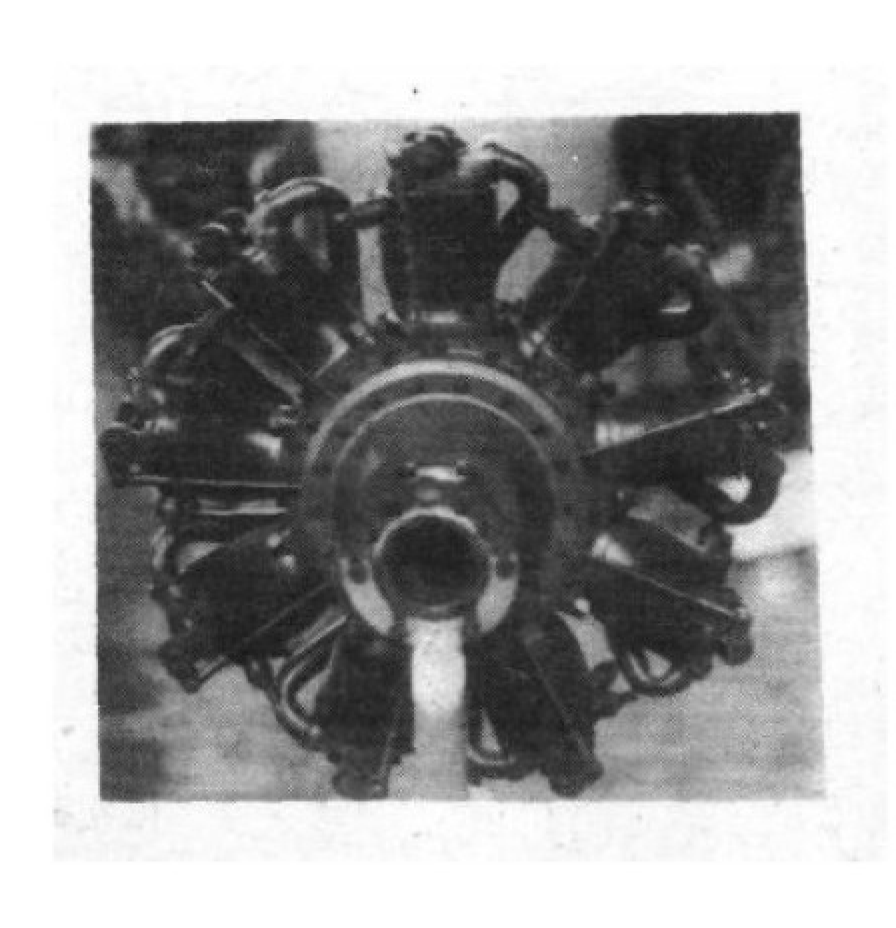
罗讷公司后来与格诺姆公司合并，沿用了两家公司的名字，变成了格诺姆·罗讷公司，长期生产格诺姆·罗讷发动机。两家合并后，公司名也好，发动机名也好，都是把两个名字连在一起了。发动机的设计也好象把两个截然不同的东西揉合在一起似的，挺有趣儿。照片27－3示出了1917年两家各自制作的发动机和把两家的设计完全溶汇在一起的1920年的格诺姆·罗讷发动机。假想如果两家的董事聚首都想保留自己公司的名字；两家的技术人员聚首又都不肯放弃自己的设计，无奈硬把两家的东西不分青红皂白地拼凑在一起的话，其结果势必导致技术的堕落。但是，仔细



照片 27 - 3（上）



照片 27 - 3（中）



照片 27－3（下）

照片27－3　格诺姆公司与罗讷公司合并后制造的格诺姆·罗讷发动机（上）。格诺姆的 160hp 发动机（1917 年、中）、罗讷的 120hp 发动机（1917 年、下）兼备格诺姆的排气门机构和罗讷的进气管两者的格诺姆·罗讷发动机（1920 年）（巴黎航空博物馆）

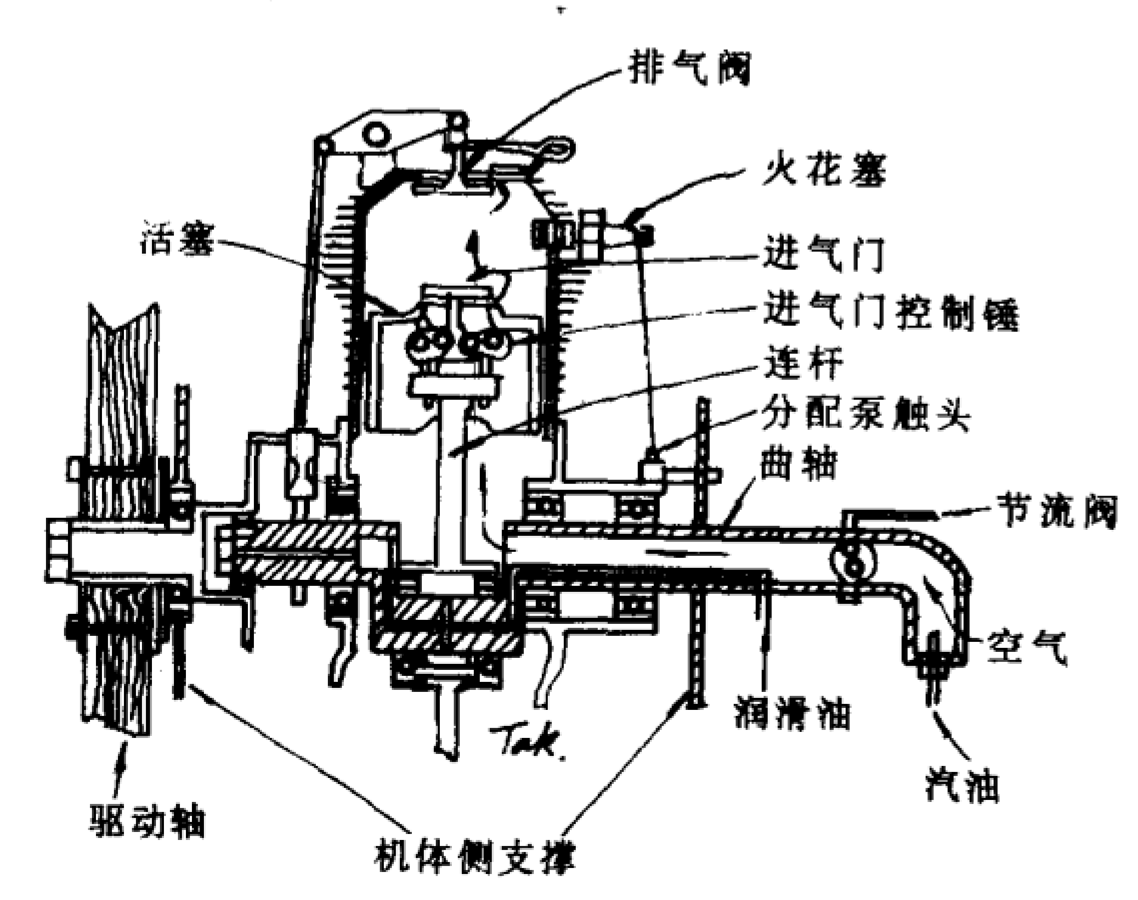
看一看合并后的发动机，看得出两家明智地该谦让的地方谦让了，该保留的地方保留了。例如在格诺姆发动机活塞上的进气门取消了（参考附录 A27－1），加上了罗讷发动机前面的推杆，就这样互相取长补短。该不要的地方不要了，看上去好象丢了面子，但却换来了美好、纯正的产品技术和优良的产品风格，充分体现出技术人员应有的实事求是的科学态度。

注：所谓回转式发动机就是由回转母体代替了气缸，活塞围绕固定曲轴转动，具有常见的气缸和往复运动活塞却以本体回转

为特点的发动机结构形式。

附录A27－1　格诺姆发动机引发的诸多设想

格诺姆发动机因为是本体旋转（转速约为1150～1250r/min），故如图A27－1所示，曲轴固定在机体侧，受到支撑。曲轴后侧为中空，可送入汽油和空气。但该发动机没有化油器。靠重力使流入的汽油经过曲轴中心进入曲轴箱，再靠曲轴箱回转的离心力进入气缸，同时实现了燃油的微粒化，不需要化油器。另外，也没有油底盘。当时已采用蓖麻油作润滑油了。因这种润滑油不溶于汽油，不能混合，故另设油道。



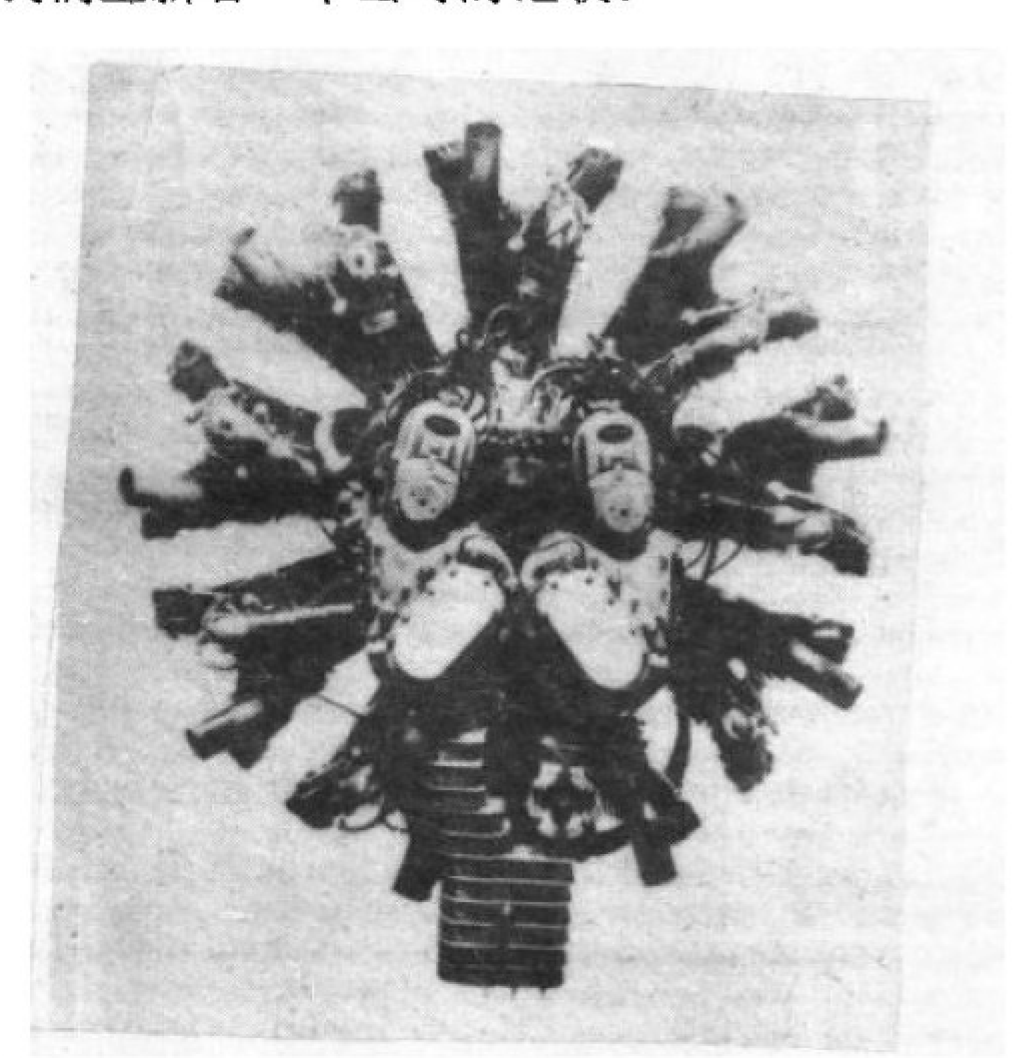
图A27－1　格诺姆发动机。4行程空冷星型7缸、回转式，缸径110mm、行程120mm、8L、50hp/1200r·min^{-1}。曲轴（壳体部分）固定在机体上，发动机与驱动桥一起转动

在曲轴箱内被微粒化了的汽油与空气适当混合后，从活塞上部的进气门进入燃烧室，点火爆发后又从气缸上部的排气门排出。为了避免混合气过浓，有时空气又从排气门倒流入气缸。另外，由于进气门是自动阀式，即当活塞向气缸下侧移动时，由于燃烧室内的负压使进气门自动开启。但是，即使有随着发动机转动的离

心力，仍能产生使这个阀门向任意方向开启的作用力。为了防止这种现象，在阀门下方安装了一个奇妙的重锤。虽然图中没有标示，但可以看得出在连杆上端带个突起，看起来很象控制进气门开启的定时机构，但是不清楚这个机构是否与重锤并用。

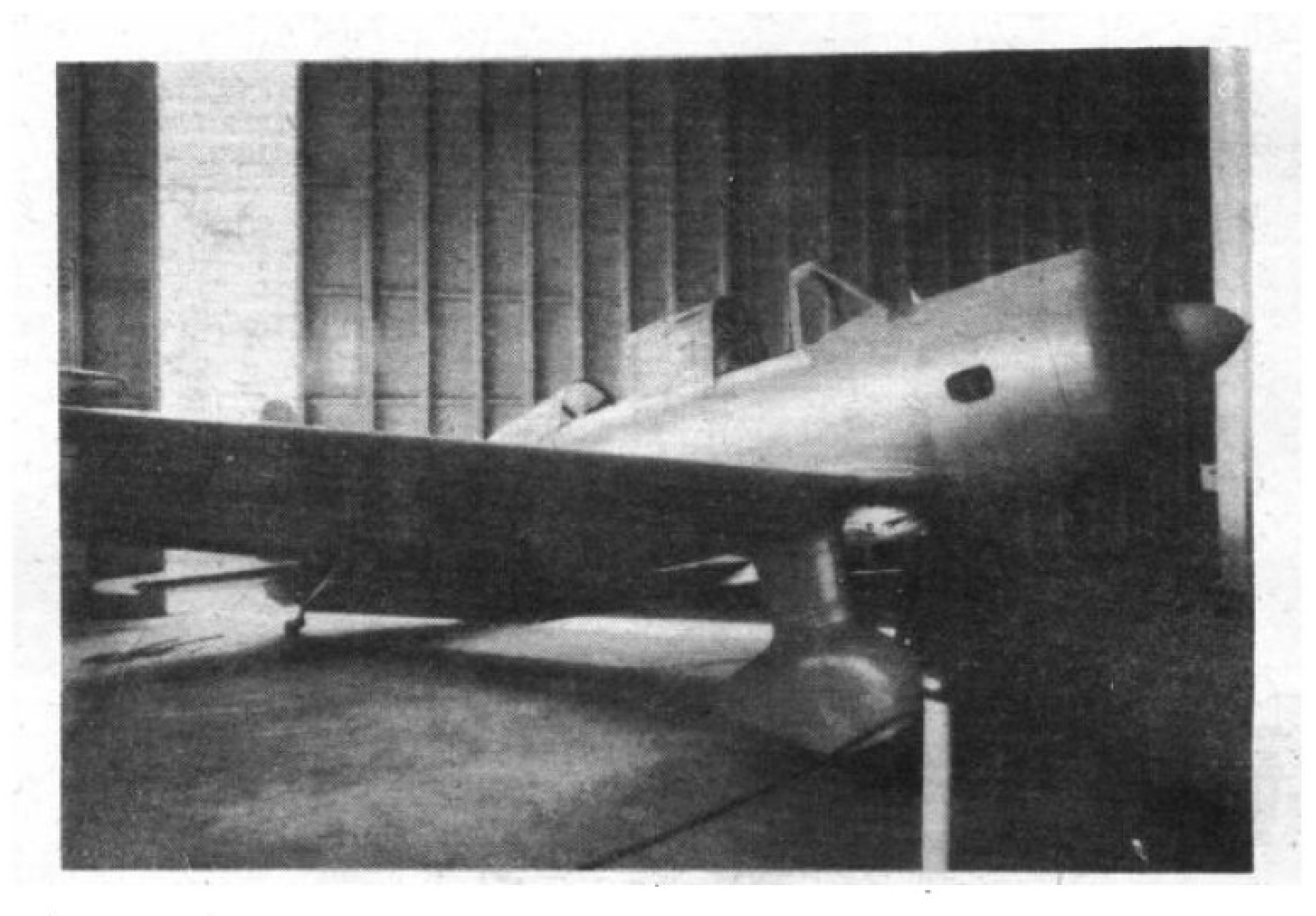
附录 A27－2　东京瓦斯电气公司的航空发动机——神风号、天风号及其发展

日本最早的纯国产航空发动机是1928年东京瓦斯电气公司制造的，让我们重新看一下当时的记载：



照片A27－1　日本最早的批量生产的航空发动机——神风号。缸径130mm，行程150mm、17.9L、300hp，后来发展到515hp

“现今我官民所用航空机之主体发动机其大部分已由内地官民工厂制造，然仅限于购买外国制造权生产，仍未达完全独立之境地。敝公司以秉承奖励国产货为宗旨，以期我航空机制造业摆脱上述之困境，毅然自今春起依照敝公司之独特设计，以国产材料进行了研制。在研制过程中，虽困难重重，但工作进展顺利，于



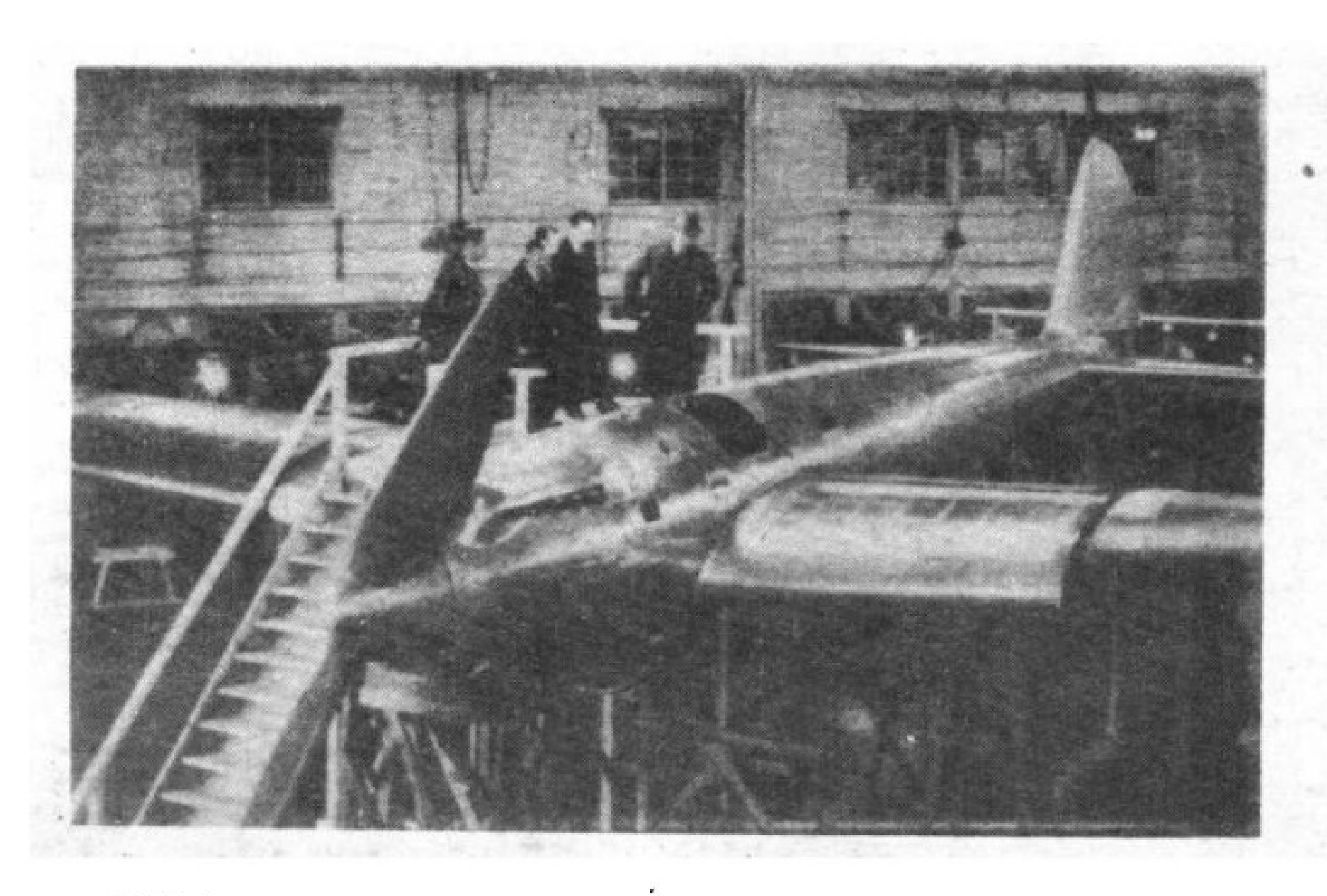
照片A27 - 2　98型直协侦察机（99型高等训练机，日立航空机公司制造）。该机装有东京瓦斯电气公司制造的发动机（泰国皇家空军博物馆）

年末宣告完成，命名为（神风号），即申告通讯部航空局，会同有关检查官，进行了连续50小时之运转试验及各种严格检测。在较长时间的实验中未发现问题，完全满足航空法规规定，博得与会各检查官之赞赏，不日将从主管部门领取航空合格证书。”云云。

重读此项报道就感受到当时的冲天干劲和激情。由于该发动机的成功，东京瓦斯电气公司受到了通讯大臣的表彰，授与了奖状和一套银杯。虽然日本的航空发动机后来是由中岛、、三菱等公司进行国产化的。但有名的中岛“寿”发动机是在一年后的1929年进行耐久性试验鉴定的。

神风号最初的功率是130hp，后来发展到神风11型（95型）160hp，装在叫做“红蜻蜓”的日本陆海军的初级演习机上。天风号后来发展成天风改型5（98型）、515hp。除了用于中高级演习机外，还用于98型直协侦察机上（直接协助地面部队侦察敌情的

飞机）（照片 A27 - 1.2）。

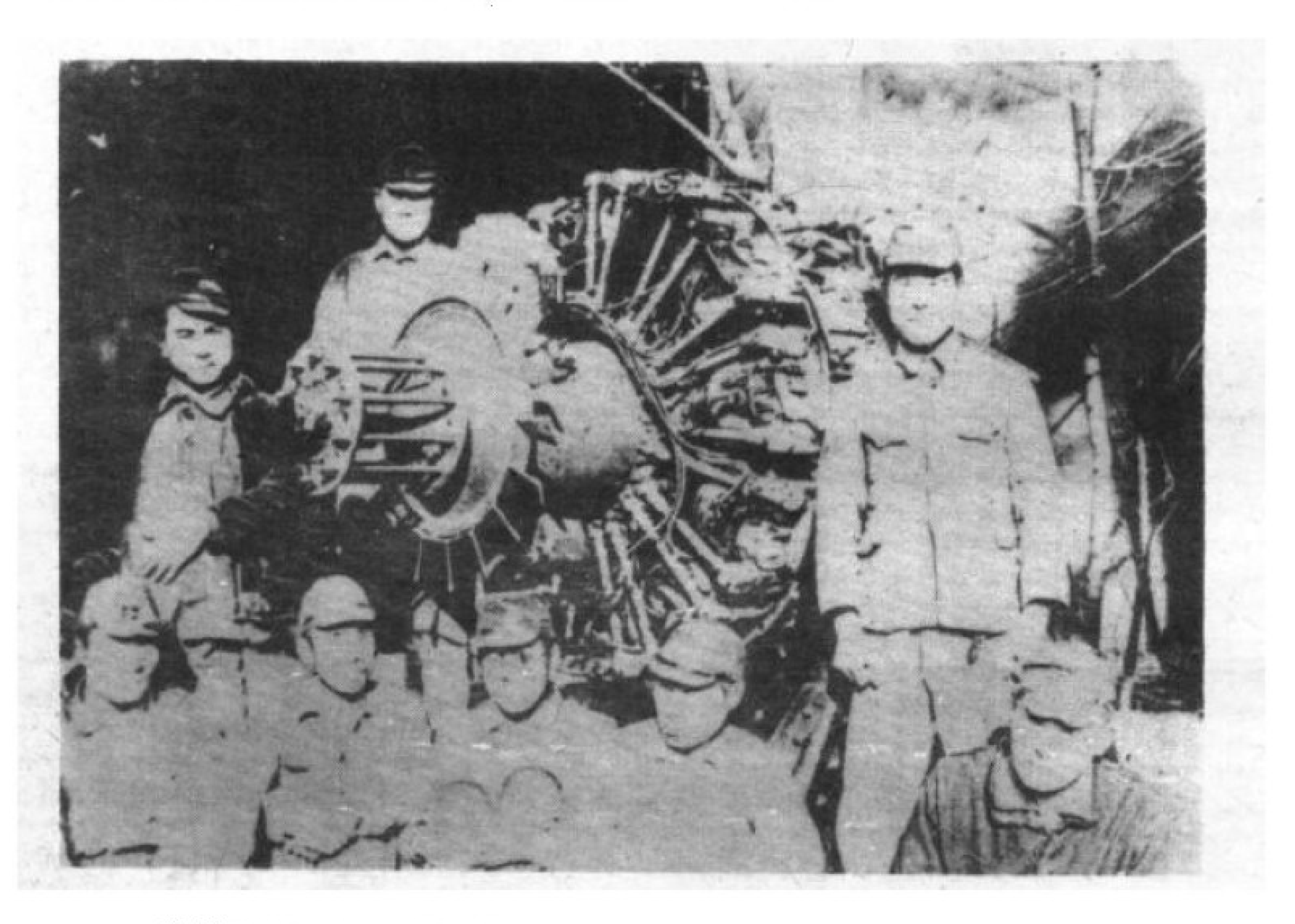


照片A27 - 3　在东京瓦斯电气公司大森厂正在组装的航研机。为了降低油耗，采用稀薄燃烧方式，排气温度未增加。为解决排气门冷却问题，东弥兰设计开发了空冷式，装配好了一看，“闭门造机”的机翼卡在门口出不去，只好把厂房拆了。可见公司上下有多么投入

东京瓦斯电气公司的航空发动机及飞机，当初是由其汽车部门设计、制造的。该公司后来又制造了东大航空研究所设计的航研机，该机在 1939 年 5 月创造了连续巡航距离的世界纪录，为日本航空事业争了光（照片 A27 - 3）。航空部门后来独立出去，成立了日立航空机株式会社，战时开发了许多优秀之作。其中最优秀的当数哈 15 每列 11 缸双列 22 缸，43.8L、2500hp 空冷星型发动机。

战后，世界最大的空冷星型发动机是每列 7 缸，共 4 列 28 缸的普拉特-惠特尼 R4360 型发动机。同样，大战末期的德国超大功率发动机是每列 6 缸、4 列 24 缸的永卡斯 · 尤毛 222E 型，是星型发动机（参考第 31 章），其构思与之相近。但是 11 缸单列配置的

方式却是举世无双的。为此，采取缩小进气门的相对张开角度来解决的。这个角度对于阀门间的冷却是极其重要的（见28章）。普拉特-惠特尼发动机在提高功率之际，与其说缩小了此角，莫如说扩大了此角，但有关措施不详。哈51型是缸径130mm，行程150mm，带单速双级增压器，进气歧管燃油喷射式，喷射泵是日立制作所制造的斜盘式的（照片A27-4）。



照片A27-4　别具一格之作哈51，缸径130mm、行程150mm、43.8L、2450hp/3000r·min^{-1}、22缸发动机于东京瓦斯电气公司立川厂。1952年根据美军的命令再次装配。（1985年由小川準一氏提供照片）

28. 星型发动机的浪漫（2）

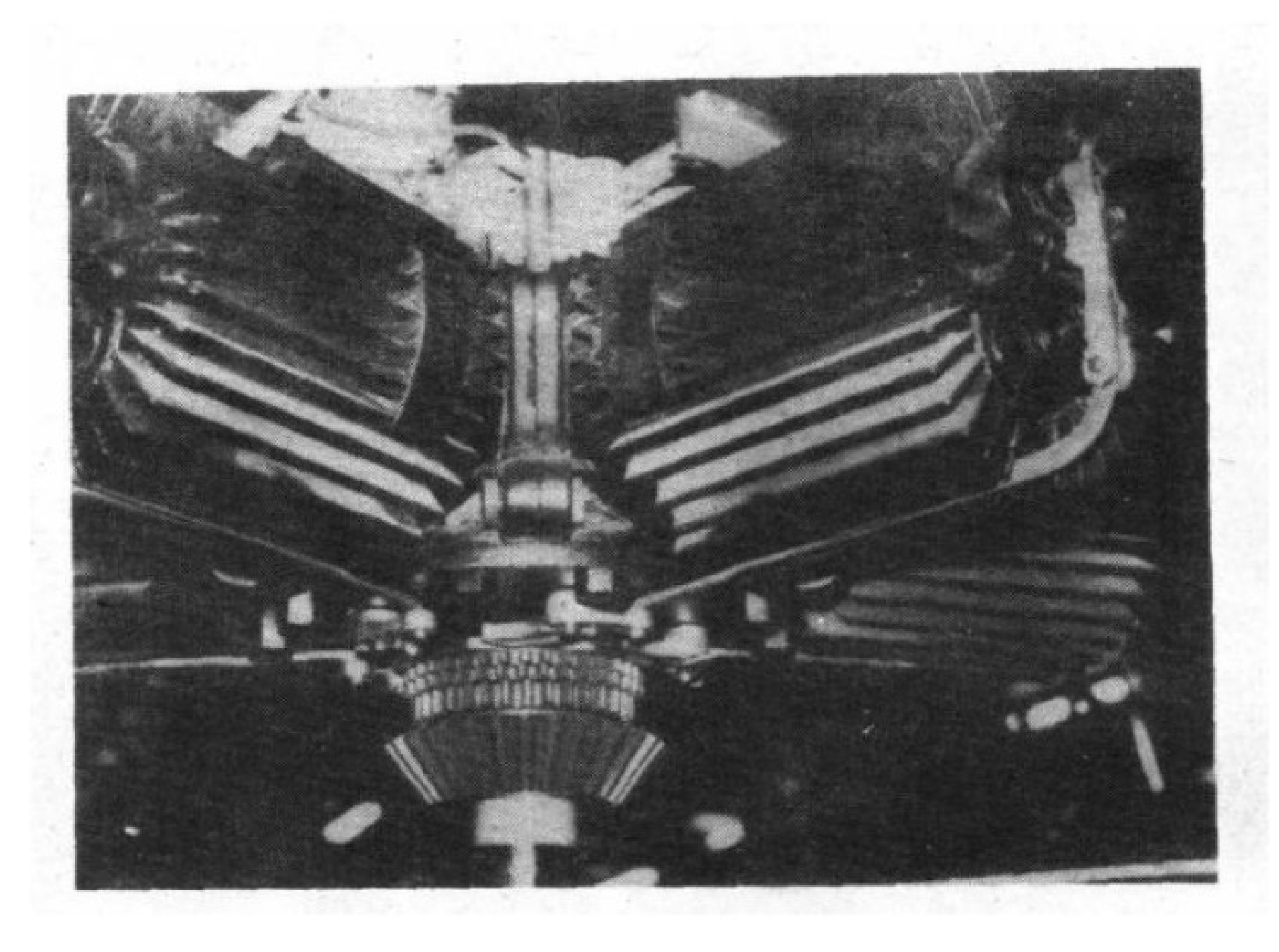
兰利教授的失败就在于，他忘记了人的存在。鲁莽的决定给伟大的构想画上了句号。

穷则思变的杰作

看上去不同凡响的回转式发动机其实不是塞根兄弟发明的。在塞根兄弟制作出长距离汽车大奖赛赛车的前两年即1906年，装有空冷星型回转式发动机的轿车已在美国投放市场。这个以亚当斯·费维尔（Adams Farwell）其人命名的车，仅存一辆于哈拉博物馆。后置发动机在当时是非常新颖的设计（图28-1、照片28-1）。自1902年以来亚当斯一直制作这种车的模型，宣传广告保



图28-1 亚当斯·费维尔车（1906年）空冷星型5缸、40～45hp，价格为2500美元



照片28－1　亚当斯·费维尔车的发动机(哈拉博物馆，缸径127mm、行程127mm、8.05L、40～45hp)，崭新的空冷星型回转式。为了使冷却空气顺着离心力方向流动，冷却风扇布置成纵式

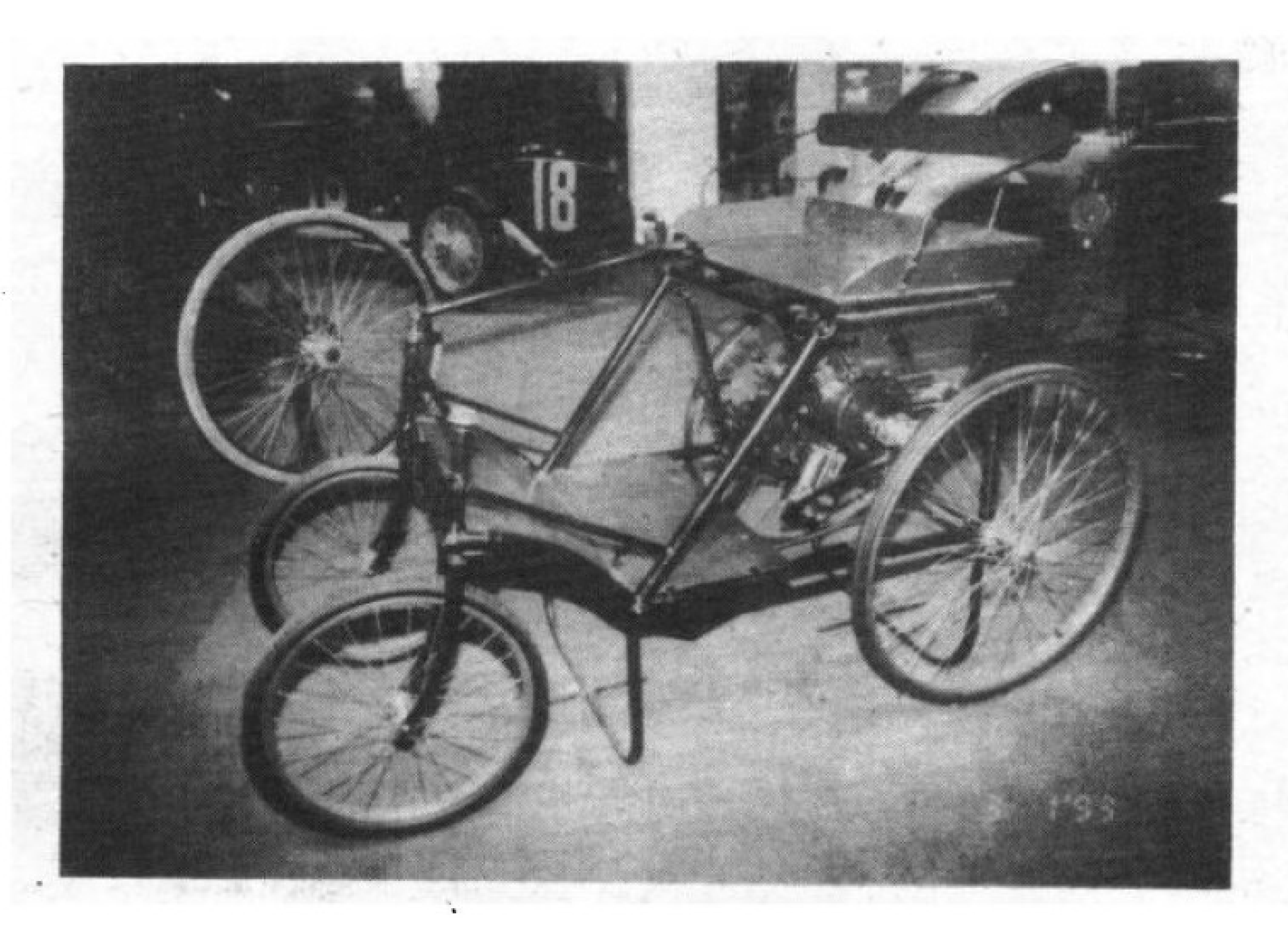
存至今，宣传说其结构紧凑，不要飞轮，具有良好的冷却性云云。恐怕是得益于这样的宣传，使一心想搞出杰出发动机的塞根兄弟从中获得了重要的信息。

信息不能靠别人赐予，应该饿鹰扑食似地不放过任何地面上的蠢动，去掠取。当时塞根兄弟正如饥似渴地搜寻构思赛车的线索，才引发了对这份情报的共鸣，加以运用，并赶上了一次大战这一“机遇”而使他们一举成名。技术人员就应该这样，对下一个构思有一种饥渴感。

兰利机的悲剧

然而，星型回转式发动机还有前辈。早在1894年斯蒂芬·鲍尔泽（Stephen M·Balzer）就设计制造了装有星型回转发动机的

汽车。该车现陈列在斯密苏尼安博物馆。其结构恰似两辆并拢的自行车。在车架地板下，装有一台3缸星型回转发动机（照片28-2）。与莱特兄弟竞争首次飞行的兰利（Samue P·Langlay）教授看中了该发动机，他与鲍尔泽签订了请鲍尔泽为他的飞机制作发动机的合同。按常规开发期需要两年，而鲍尔泽却自负地把开发期定为3个月而导致了失败。可见只凭意气是搞不好开发的。

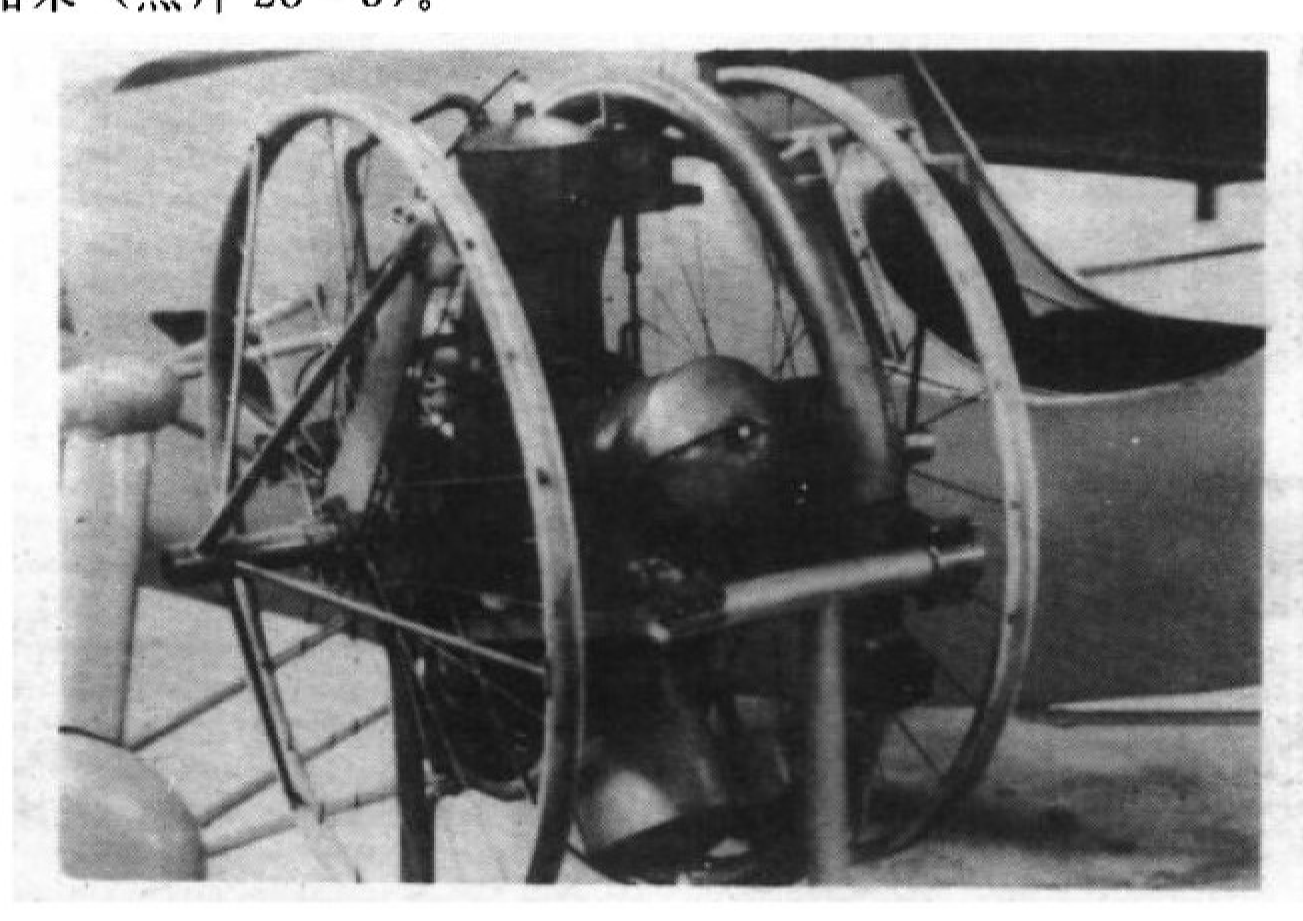


照片28-2　1894年制鲍尔泽四轮车。这是美国制造的2号车（1号车为前一年面世的杜丽亚），装有回转式发动机，现陈列在斯密索尼安博物馆

兰利飞机的发动机，后来由康奈尔大学毕业的年青人查尔斯·玛琳（Charles Manly）进行了回转式和固定式两种发动机试验，并由泰利教授对这两种方式作了比较后，决定采用固定式，尽管兰利特地与鲍尔泽签订了制作回转发动机的合同，但玛琳还是选择了固定式。其理由是因为回转发动机进气门受离心力的影响，使发动机的功率发挥不出来，改为固定式后，功率倍增。

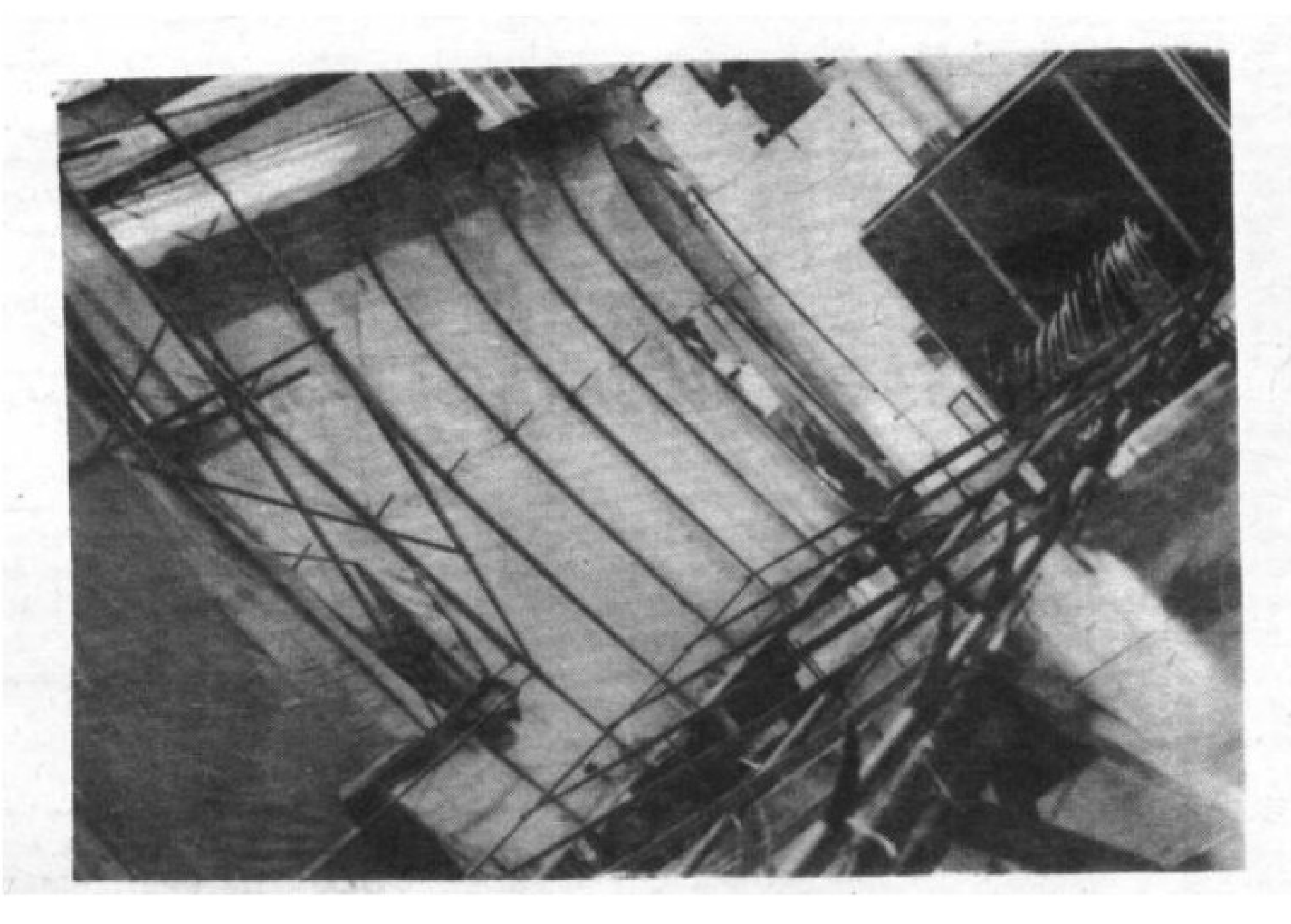
该发动机在技术上是极其优秀的，采用了1.6mm的铸铁制

缸套(现日野制 HO7C 发动机采用壁厚为 1.5mm 的铸铁缸套，已经跨入世界薄缸套的行列)，中空的连杆等等。单位排量的质量为 54.3kg/L，单位马力质量 1.17kg/hp，水平很高（现在汽车用汽油机的升质量和马力质量分别为 70～120kg/L，1.2～2kg/hp 左右，均未达到玛琳发动机的水平，令人震惊。这种轻量发动机在当时就已经能承受 10 小时的连续运转，因此勿容置疑是一台优秀的发动机。但是令人十分惋惜的是玛琳遭受了如后所述的挫折，否则他继续参与发动机制作的话，一定能接二连三地开发出杰出的产品来（照片 28 - 3)。



照片28 - 3　装在与莱特兄弟竞先试飞的兰利飞机上的玛琳 5 缸机。缸径 127mm、行程 140mm、8.87L、52hp。文献记载说是固定式的。不过斯密索尼安博物馆的说明书上却写着回转式，看上去也象回转式的，气缸部分为空冷，仅缸盖是水冷（缸套为 1.6mm，厚壁铸铁，用 1.6mm 的增强钢管，连杆是中空的，马力质量为 1.17 kg/hp，升质量为 5.4 kg/L)。这些指标在今天仅赛车能达到（斯密索尼安博物馆）

在莱特兄弟首次试飞的前 9 天，兰利的两次试飞均告失败。令人惊骇的是正式试飞是由毫无空中驾驶经验的玛琳本人操纵。从装在船上的望楼拍下的现场照片来看，飞机简直就象跳进水里似地坠落在华盛顿的波特马克河里，玛琳这位优秀的工程师以身殉



照片28－4　坠入波特马克河里的兰利飞机残翼现在保存在斯密尼安博物馆等待复元。保持这破碎的样子作为技术教训不更能使人引以为戒吗？（斯密苏尼安博物馆）

职。

虽然兰利飞机和玛琳发动机在技术上后来都获得了很高的评价，但是这种忘记人的存在的试验是技术失败。也许他们对事先的模型实验过于自信了吧。即使在高度自动化的今天，这种忽视人的存在的技术也是不可取的。当年坠入波特马克河的兰利机的残翼保存在斯密苏尼安博物馆的仓库里（照片 28－4），看上去要加以复原，但在我看来保持那种残缺不全的原样，岂不更能让技术人员引以为戒，那么就不会有第二个玛琳掉入冰冷的波特马克河里了。

星型发动机之根在澳大利亚

说点题外话，我们有必要追溯一下星型回转发动机的根。有

文献记载，在本茨制造出第一辆汽车的翌年即 1887 年，澳大利亚的劳伦斯·哈哥利布（Laurence Hargrave）第一次完成了对压缩空气发动机的设想。

哈哥利布当时在澳大利亚的新南·威尔士教授航空学。他把该发动机安装在扑翼机上飞行成功（图 28 - 2）。他后来又发明了箱型风筝，被名声赫赫的桑托斯·杜蒙（Santos Dumont）采用，光荣地成为欧洲最早的动力飞行源。这在航空界是众所周知的。飞机的发动机宛如转动的星星。

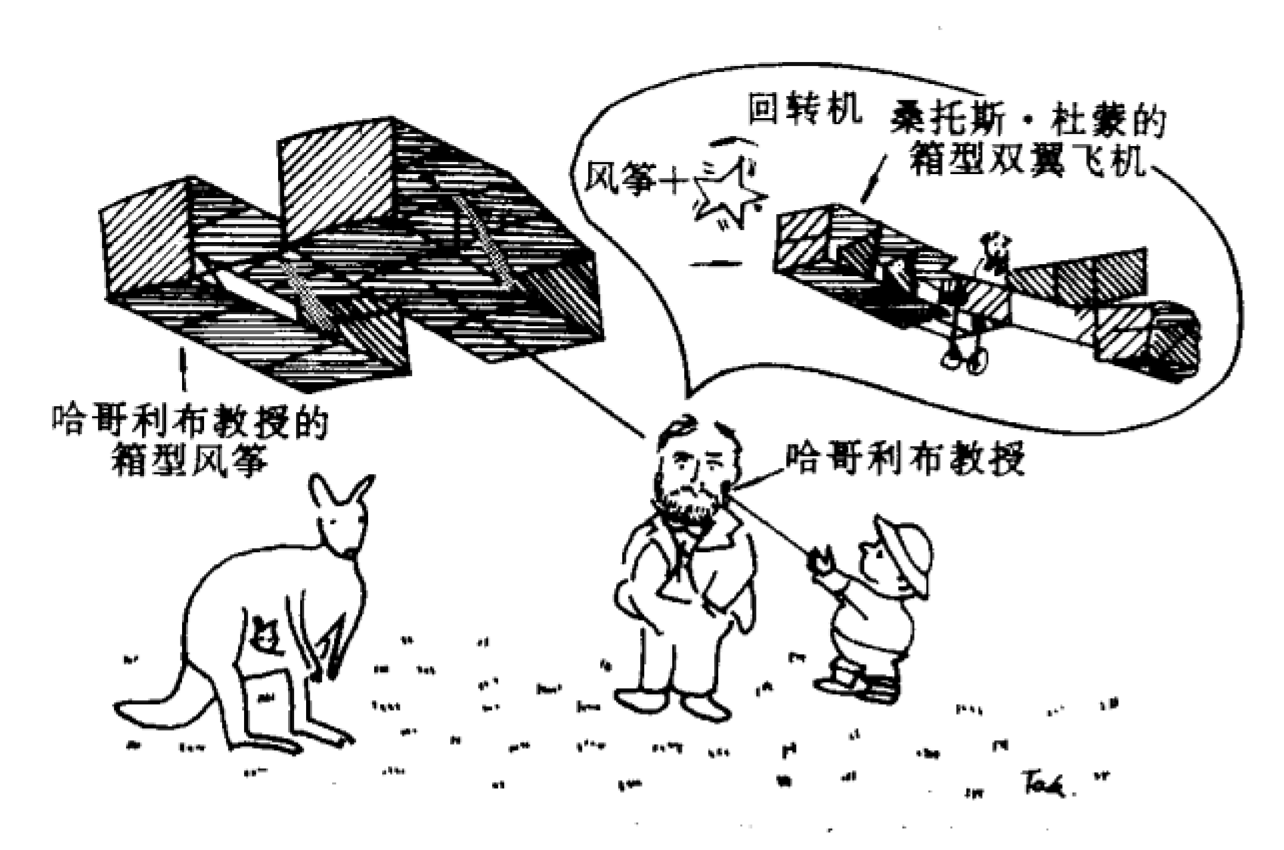


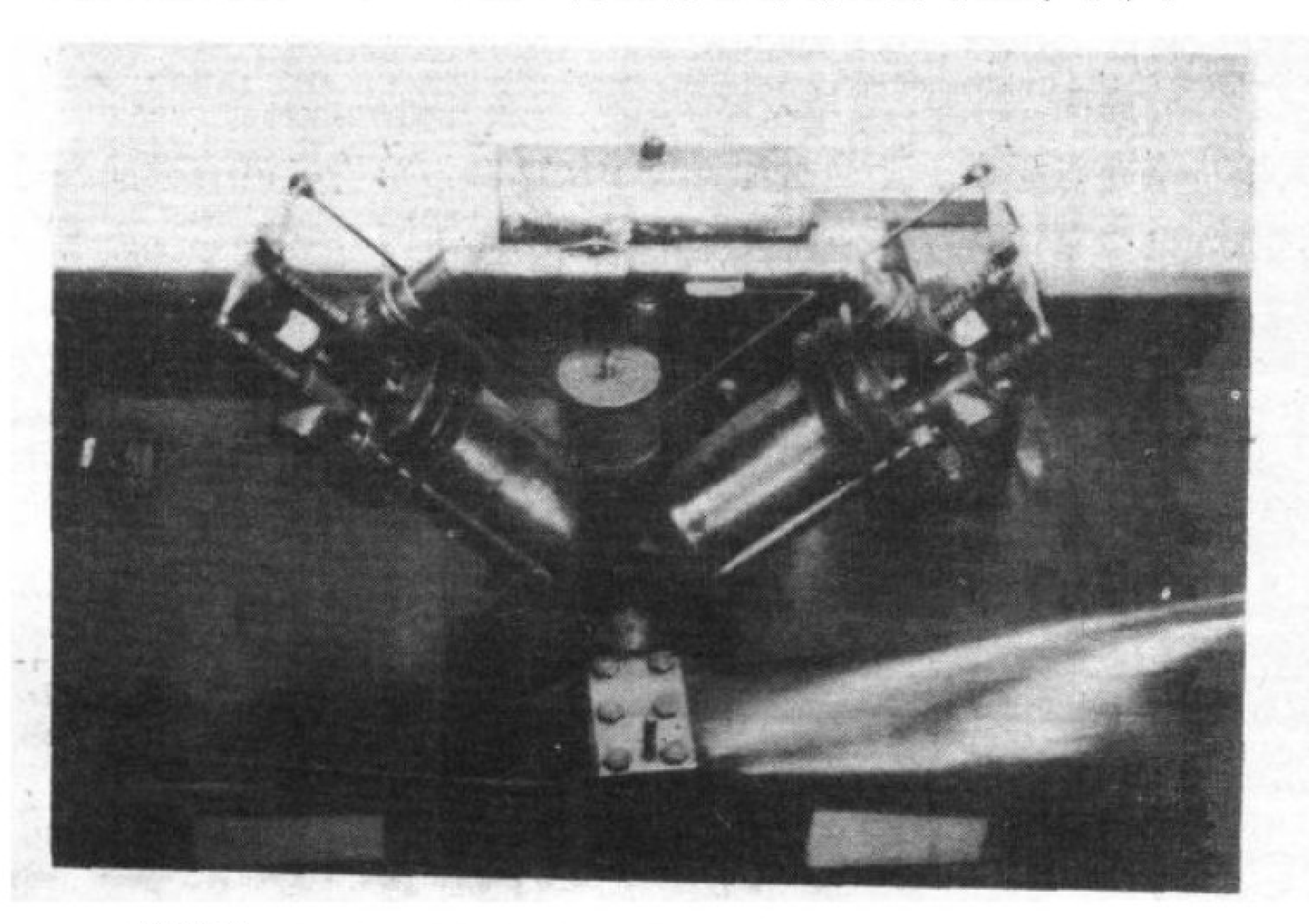
图28 - 2　回转机的发明人还发明了箱型风筝。箱型风筝后来发展成桑托斯·杜蒙 14big 号，摘取了欧洲最早飞行器的桂冠

哈哥利布从 1885 年到 1915 年期间设计了 50 多种航空发动机（照片 28 - 5）。作为扑翼机用发动机，哈哥利布果真是从冷却的必要性考虑使发动机回转的吗？其详情不得而知。最早考虑发动机冷却而回转的是鲍尔泽。总之，格诺姆公司采纳回转式结构的航空发动机是划时代的创举。正因此举该公司的发展在二战期间达到鼎盛。

固定式发动机的采用

在一次大战中，毅然舍弃原来方式，决心采用固定式发动机

的是英国 ABC 公司（全英发动机公司）。该公司的娃斯普发动机装用在大战末期的 BAT（英国航空运载公司）的战斗机上，取得了令人自豪的速度。飞机的速度变快，如果冷却气缸里的空气速度也增加的话，那么即使不特意转动发动机也可以冷却了。



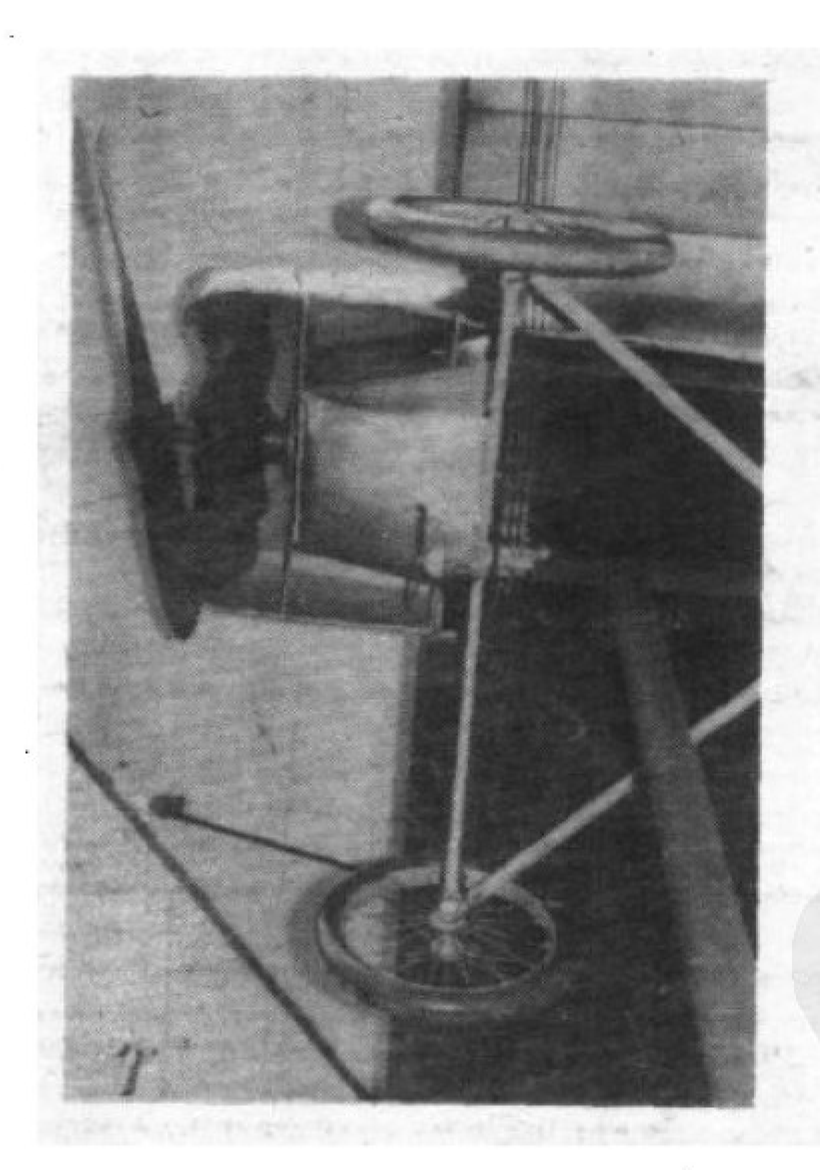
照片28－5　从下面看 REP・K 型飞机（巴黎航空博物馆）发动机罩是为了挡住油烟才安装的

但是娃斯普发动机的缸盖部分的冷却仍不充分，因此与同时制作的德拉贡大型航空发动机一起作为失败之作而名噪一时。虽然采用固定式发动机这一决断是难能可贵的，但对冷却考虑不周，其气缸结构和格诺姆发动机一样，只是实施了镀铜，粗制滥造等却是令人遗憾的（参考附录 A28－1）。

对预想到的所有项目作了万无一失的周密考虑后，作出的决断才不是无谋之勇。对娃斯普发动机有人同情说，战争已近尾巴，预备实验也不尽人意，这是不得已而为之的。作为工程技术人员不应该这么想。就是在那种情况下，更要尽最大努力，谋事在人，成事在天么！至于把娃斯普发动机原封不动地大型化了的德拉贡

航空发动机，由于过热引起的缸盖变形使阀不断烧损，其磨损率（单位运转时间的质量消耗）比发动机燃油消耗率大。始料未及的是，胡打乱着地把固定式沿用到采用缸盖冷却方法的宇宙·丘辟特发动机（后来成为“寿”等日本航空发动机样板的布里斯托·丘辟特发动机的前身）上了。

改成固定式后，回转发动机先天的几个缺点也自然消失了。其中一个缺点是由于发动机本身转动的离心力，使缸内的机油大量进入燃烧室内，致使油耗太大，约占总耗油量的30%以上。据说未燃的蓖麻油与排气一起排出，将飞行员的脸孔无情地熏得漆黑。当时，装有这种发动机的飞机都加上了漂亮的发动机罩，殊不知这是为了遮挡油烟，而不是为了减少空气阻力（照片28-6）。



照片28-6　为了遮挡油烟，安装的发动机罩。从下边看是REP·K型机（巴黎航空博物馆）

改为固定式的ABC发动机的机油消耗量为20g/(hp·h)，而

回转式格诺姆发动机的机油消耗量是它的 4 倍以上，高达 90g/(hp·h)（参考第 7 章图 7-2）。

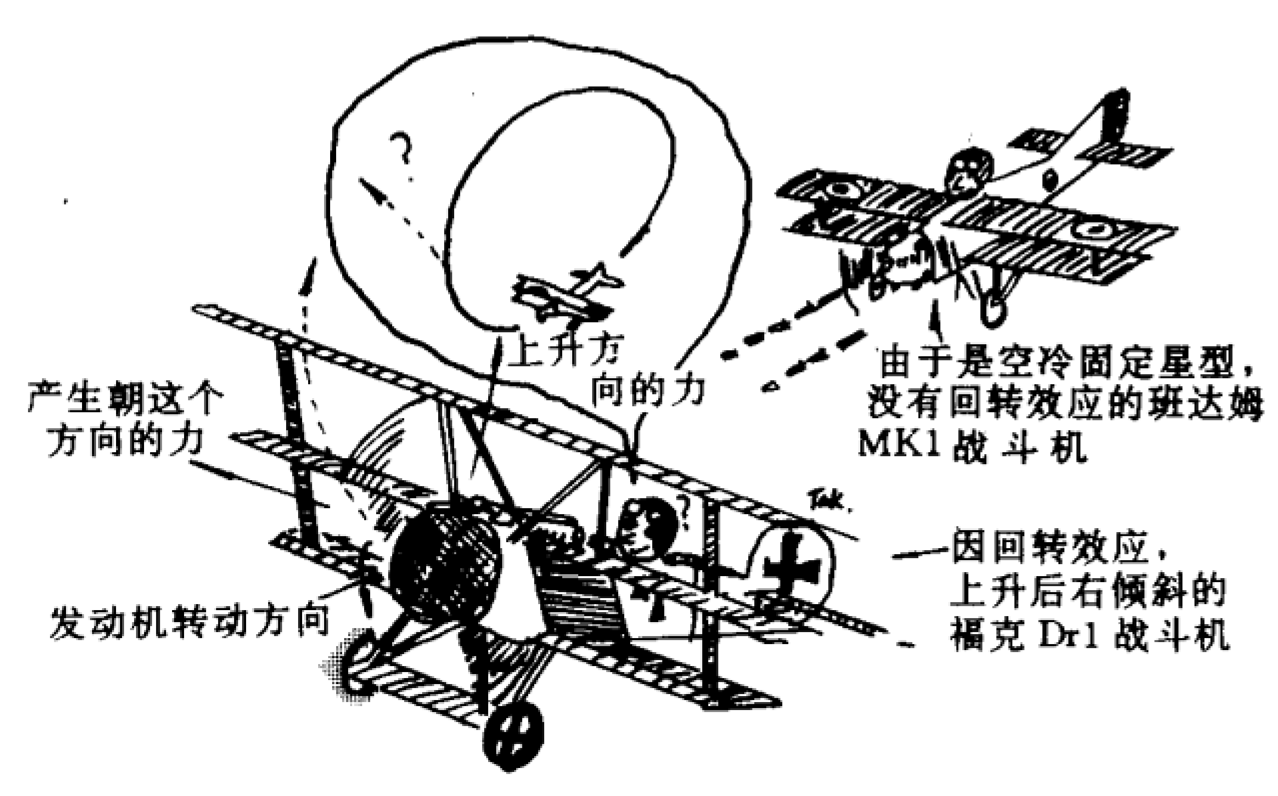


图28-3　福克与班达姆的决战。所谓回转效应系指给转动的陀螺（发动机）施加一个（上升方向的力）力，就会得到回转轴转到与之垂直方向上去的效果

另外，回转发动机还有一个大缺点，装有这种发动机的飞机就象头上安着一个大陀螺似的，由于所谓的回转效应而干扰转换方向。如果想使转动着的陀螺倒向某一个方向，就得让陀螺转到与该方向垂直的方向上去，这就叫做回转效应。为此，如果想使飞机转到某一方向的话，机头应拐到与该方向垂直的方向。为冷却所付出的代价是巨大的。这是在放弃了回转式发动机方式后所感受到的（图 28-3）。

但是，飞机采用回转式发动机的设想是了不起的划时代创举，是技术的胜利。而舍弃了这一先进的技术构思的 ABC 公司虽作出了采用固定式发动机的决断，把握了技术的发展趋势，却缺乏画龙点睛的手段，实在可惜。

附录 A28　ABC 发动机的故障

ABC 娃斯普发动机的缸盖与迄今为止的回转机一样，为了加

强铁质气缸外壁加工的散热片冷却效果，实施了镀铜。的确铜比铁的热传导率大，但镀铜果真能加速冷却吗？设缸盖的壁厚为 x，气体温度为 T，冷却媒体的温度为 T_4，则单位时间内由缸盖散热到冷却媒体的热量为

$$Q=KA\ (T_1-T_4)\qquad (\text{kcal/h})^{①}\qquad (1)$$

式中，K——热通过率（kcal/m²h℃）

$$K=\frac{1}{\dfrac{1}{K_1}+\dfrac{x}{C}+\dfrac{1}{K_2}}\qquad (2)$$

A——壁表面积（m²）

K_1——冷却媒体的热传导率（kcal/m²h²℃）

K_2——燃烧气体的热传导率（kcal/m²h²℃）

C——壁的热传导率（kcal/mh²℃）

镀铜时：C=332 kcal/mh℃

镀铝时：C=175 kcal/mh℃

用铁时：C=58 kcal/mh℃

用陶瓷（氧化锆）时：C=2kcal/mh℃

用陶瓷（氧化硅）时：C=11kcal/mh℃

采用铝和铜时，比铁的热传导率高得多，壁温大致如图 A28-1 那样变化。在这种情况下 K_2 和 K_1 也会发生一定变化（其值因媒体流动条件等而变化很大，以水为媒体时为 1000～10000kcal/m²h℃，以空气为媒体时为 10～50kcal/m²h℃）

铁缸壁表面镀铜时，相对壁厚 x 可用下式代替，(2) 式中的 x/C：

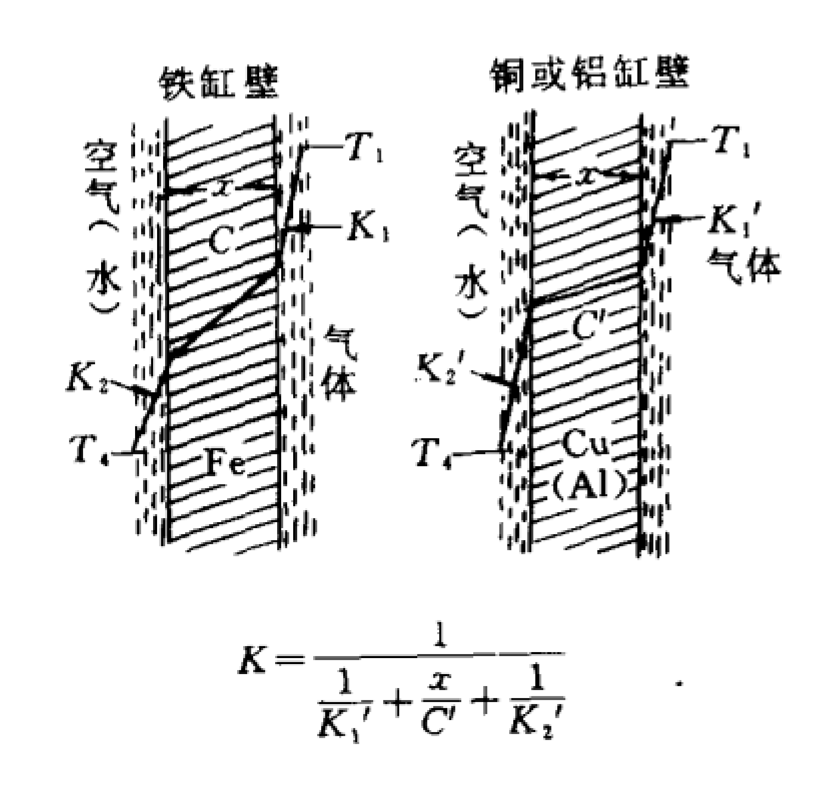
$$\frac{x}{C}\longrightarrow\frac{x-\text{镀层厚}}{C}+\frac{\text{镀层厚}}{C}$$

但是，镀层厚与壁厚 x 相比小得可以忽略不计，如算作零，就很容易理解壁温是不变化的道理了（K 按不变化考虑）。

人是经常产生错觉的动物。因此应经常自省在逻辑上和科学

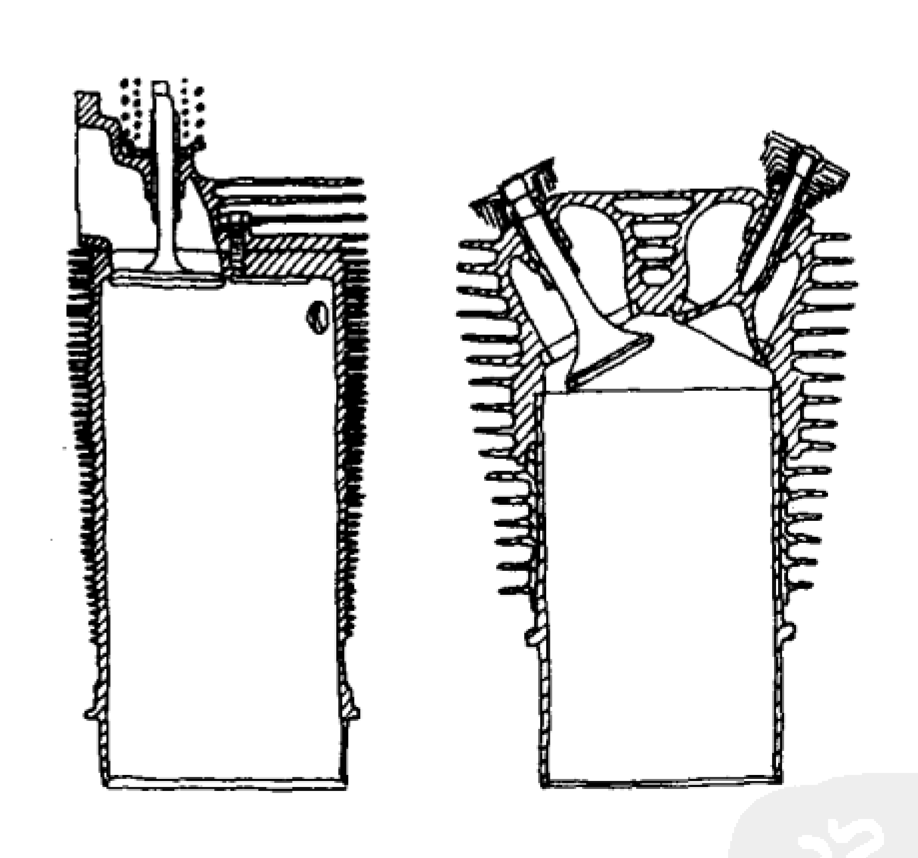
---

① 1cal=4.1855J



$$K=\frac{1}{\frac{1}{K_1'}+\frac{x}{C'}+\frac{1}{K_2'}}$$

图 A28 - 1　缸盖壁两侧的温度条件和热传导率



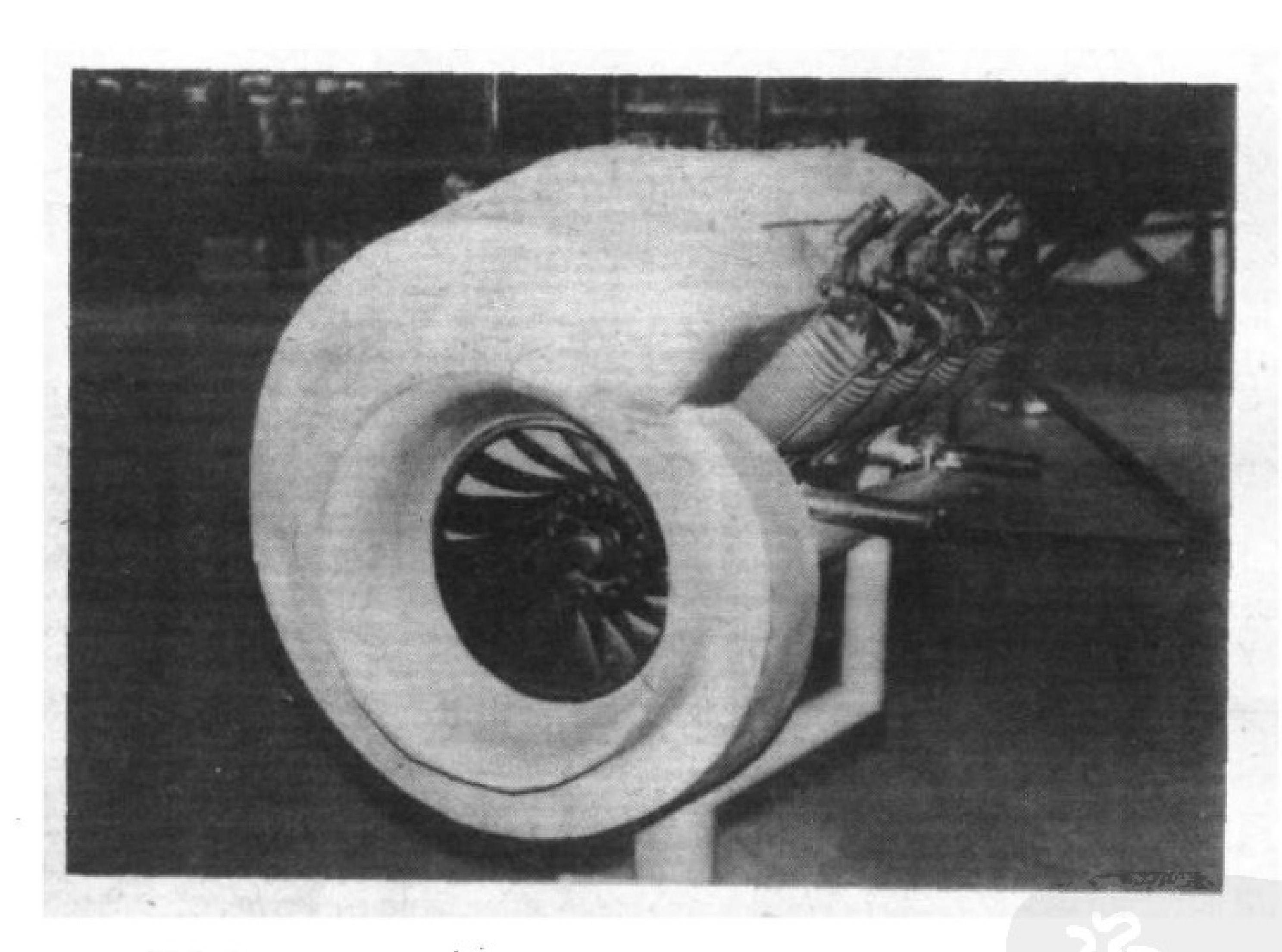
图A28 - 2　ABC 发动机和原始的丘辟特缸盖及吉布森型缸盖。丘辟特后来发展成布里斯托·丘辟特发动机，缸盖也过渡为吉布森型。阀门倾斜，使空气通过其间是最为得意之处

有无错误。

图 A28 - 2 示出比 ABC 发动机稍晚些出现的宇宙工程（Cas-

mos Engineering）的丘辟特发动机的缸盖以及后来作为空冷发动机缸盖形式固定下来的吉布森型缸盖。丘辟特发动机由于采用了铝缸盖，取得了一时的成功，但这个设计因铝部分变形，寿命不够，不久便发展成吉布森型了。

吉布森型缸盖是由英国人A·H吉布森（A·H·Gibson）和S·D赫伦（S·D·Heron）在雷诺空冷V8发动机（照片A28-1）的基础上经过细致的实验研究完成的。他们加大了阀门间隔，提高了阀门间的冷却能力，从而为后来的大功率化提供了可能，并且奠定了空冷星型的发展基础。



照片A28-1 吉布森和赫伦反复实验完成的雷诺空冷V8发动机（150hp、1908年）。采用径向式风扇进行压风式冷却（100型柴油机为吸风式，参考图23-4）（巴黎航空博物馆）

29. 殒落的群星

商品不能一味追求新颖，过于追求奇特，反而破坏了商品性。

恰似流星闪现

在鲍尔泽时代，那时汽车本身及车用发动机尚未定型，所以作为设计概念之一，在汽车上装用星型发动机是无可非议的，作为一种崭新设计的回转发动机，也许更应得到赞赏。

相形之下，应该如何评价亚当斯·费维尔车呢？不错，由于它的出现可能是开发格诺姆发动机的重要信息来源。在那时汽车已基本定型，对已定型的概念的任何否定都会引起疑问：不要飞轮会减轻重量吗？复杂的供油系统和点火系统以及整体空间的利用等，与其它普通设计相比，果真是优点多于缺点吗？技术评价的结果其答案恐怕是否定的。

但是，商品要求有时超越纯技术，这种说法虽然不好听，但作为商品是需要有迷惑顾客的新颖性。不过，最根本的还是需要货真价实。让我们以这样的观点来追寻几个如昙花一现、转瞬即逝的星型发动机的踪迹。

追星族们

自 1925 年也就是从亚当斯·费维尔车问世 20 年后，一位名叫朱利安·布朗（Julian Brown）的人进行了完全相似的设计。据说此人既是汽车设计师、制造商、发明家又是经营餐馆、俱乐部的老板，是位手头阔绰的大款。图 29 - 1 就是朱利安汽车，车身是铝制的。驾驶员坐在车中间，邻座的两个乘员面朝后，后座的两个乘员面朝前，乘员 5 人。如照片 29 - 1 所示，该车装有星型

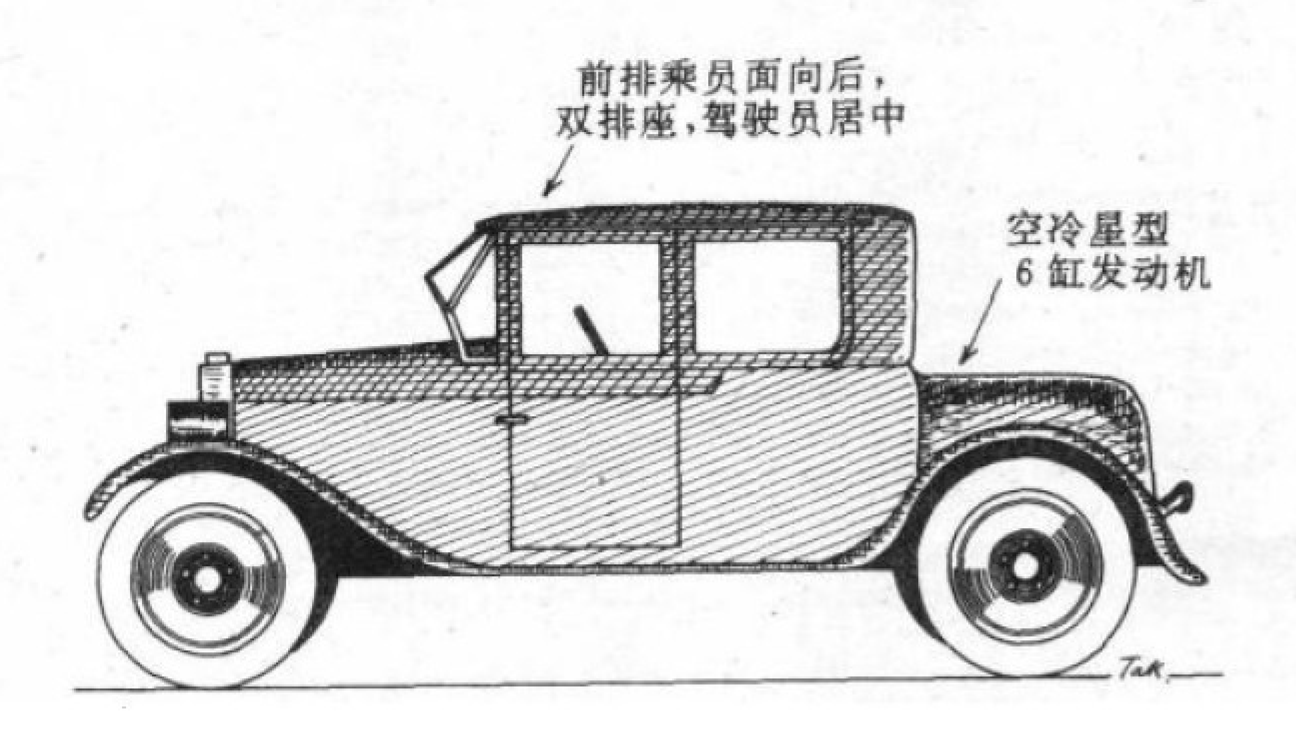
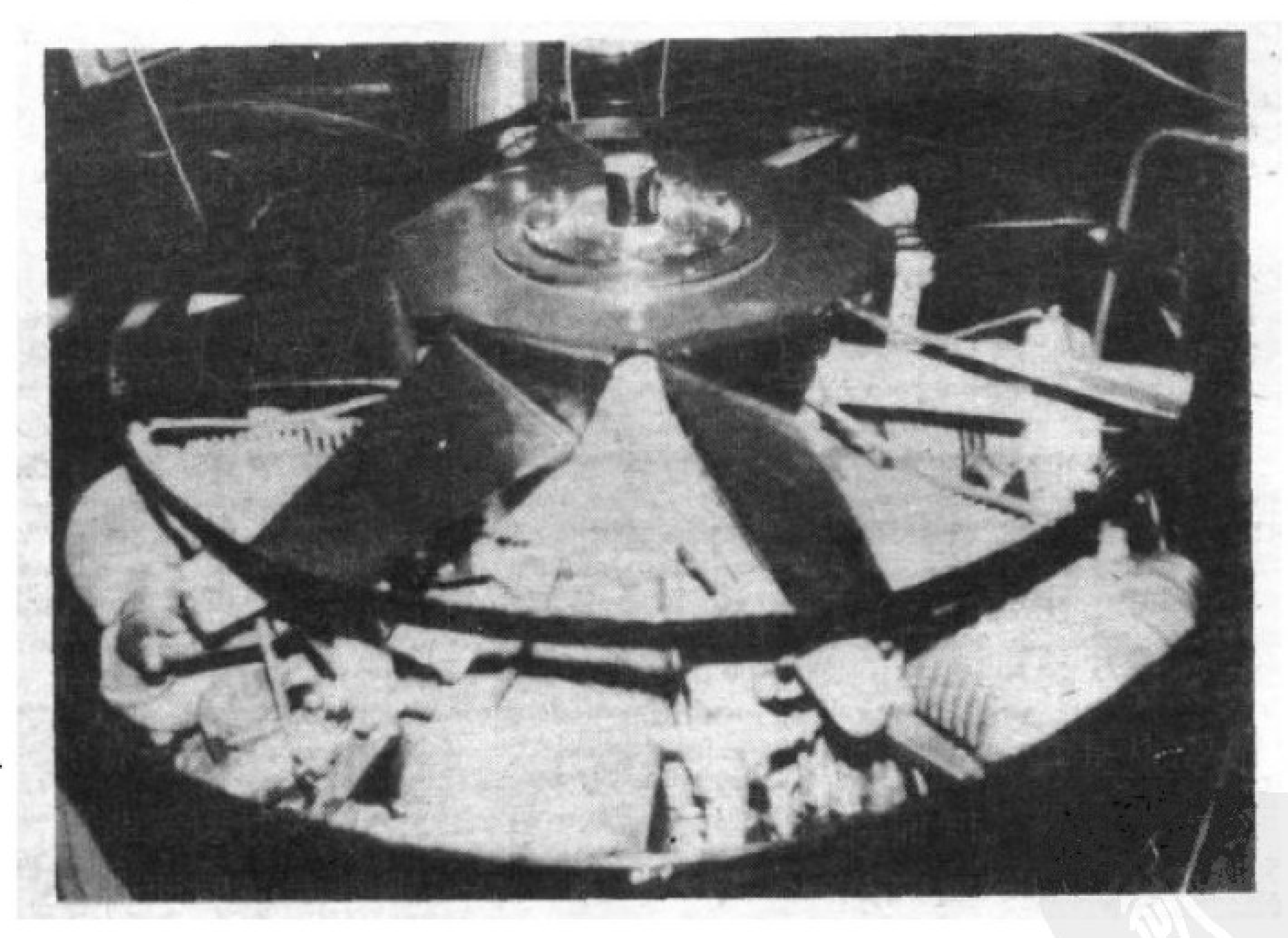


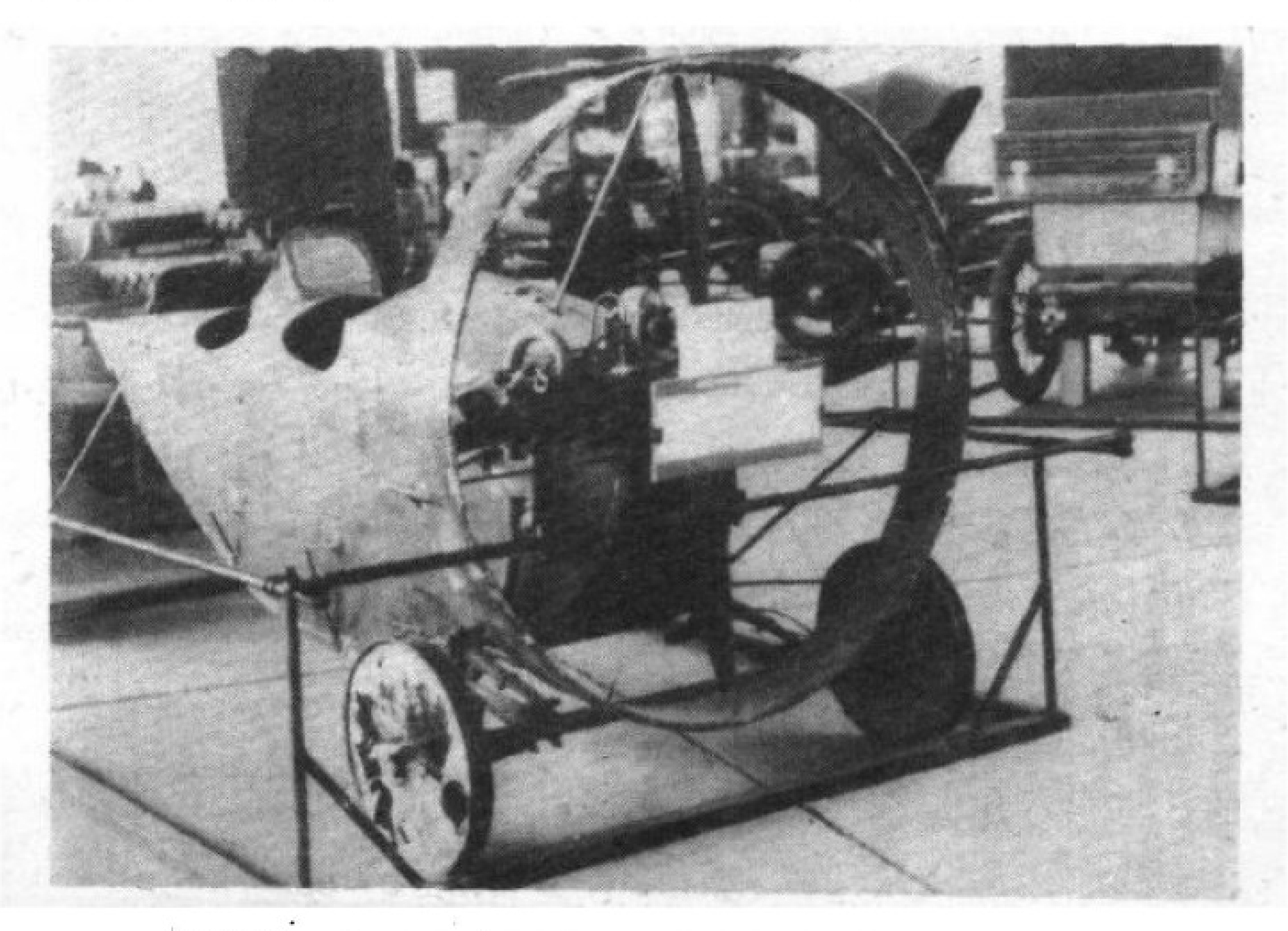
图29－1　1925年朱利安牌车。可从驾驶座席上调整制动器，使用了“最活跃、最美丽，在美国乘坐最方便的车”的一长串销售口号



照片29－1　朱利安发动机。空冷星型6缸、60hp、以飞机用发动机为基础，外转子式，为固定式。冷却风扇的设计感觉等相当不错（哈拉博物馆）

6缸600hp的发动机，升里程为8.5km，是梦想对面和左右有美女陪伴着驱车的花花公子想要的车。但仅制作了第一辆便告终了。从

感情上讲呕心沥血设计出来的怪可惜的，但因成本太高失去竞争力却也无可奈何。



照片29－2　1920年马塞尔·莱亚特靠螺旋浆推进的这个车子，夹在普通车中间行驶在巴黎的大街上（卢·曼博物馆）

1919年法国人马塞尔·莱亚特(Marcel Legat)按照自己以前的学说制作了螺旋桨推进车，并驱车招摇于巴黎的大街（照片29－2）他驱车威风八面地前进，不时向停留在马车形态、驾驶台还裸露在外面的雷诺和别儒汽车投去轻蔑的一瞥。他的车的确是一种技术流派。辐式车轮也用布点缀起来，以70～80km/h的速度行驶，升里程为17～20km，可乘坐两个人，是很经济的车子。

不过，到了后来他依然固执地抱住这种螺旋桨式汽车不放，反复试制直至1930年，如照片29－2所示，最初装用的发动机是水平对置发动机。中途也装用过安札尼星型3缸机等。后来由于资金拮据，曾向著名的小提琴家费朗西斯卡蒂等社会名流求援。诚然，该车或许会很适合充满激情地演奏帕加尼尼的“魔鬼的颤音”的费朗西斯卡蒂的口味。

1919 年在巴黎城里，该车一时间成为众人关注的焦点。但是裸露在外的其它车的驾驶台不久随着时代的前进而被收进了驾驶室。到了普及开自家车之时，螺旋桨式车的优点究竟还剩下什么？马塞尔·莱亚特后来的心情如何，无从知道。不过，作为技术兴趣的实验，他已领略个中滋味了吧。

大约 10 年后，意大利的利塞特·托洛希伯爵夫人的莫纳哥·托洛希汽车，装用了 2 行程星型 8 缸、4L 发动机，恰似匹配在飞机上一样，发动机转速为 6000r/min，250hp。1939 年参加了蒙扎举办的意大利汽车大奖赛（照片 29 - 3）。那个时代，赛车主要采用前置发动机，是否正确呢？作为汽车用发动机是否有不足之处？似乎很难说得清，再者它在空气动力学方面不够精湛，令人惋惜。（想给螺旋桨加个罩）

追星族还有人在，到第一次大战后，着手开发许多飞机和汽车的沃克辛，在 1938 年前后对发动机的装配位置作了各种调查，

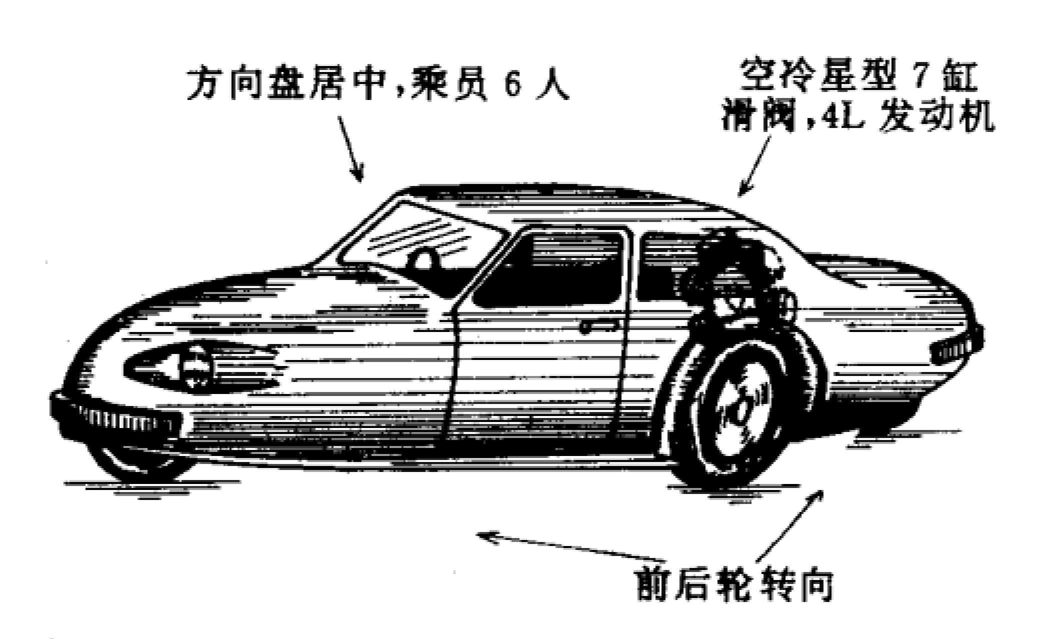


图29 - 2　沃克辛菱形车。1920～1930 年代最后的梦想（梦想是否来自他的沃克辛侦察机？参考图30 - 2）

计划进行如图 29 - 2 所示的布置，不过是一种尝试性幻想车。然而，在 1960 年著名的车型设计师皮宁法利那发表了 XPF 1000 的试制车（图 29 - 3）。这个车就是 1938 年沃克辛的设计。他为了追求理想的流体力学形状制作了这个模型，结果油耗降低了 20%。其美丽的造型与久保富夫设计的 1000 型司令部侦察机一模一样。

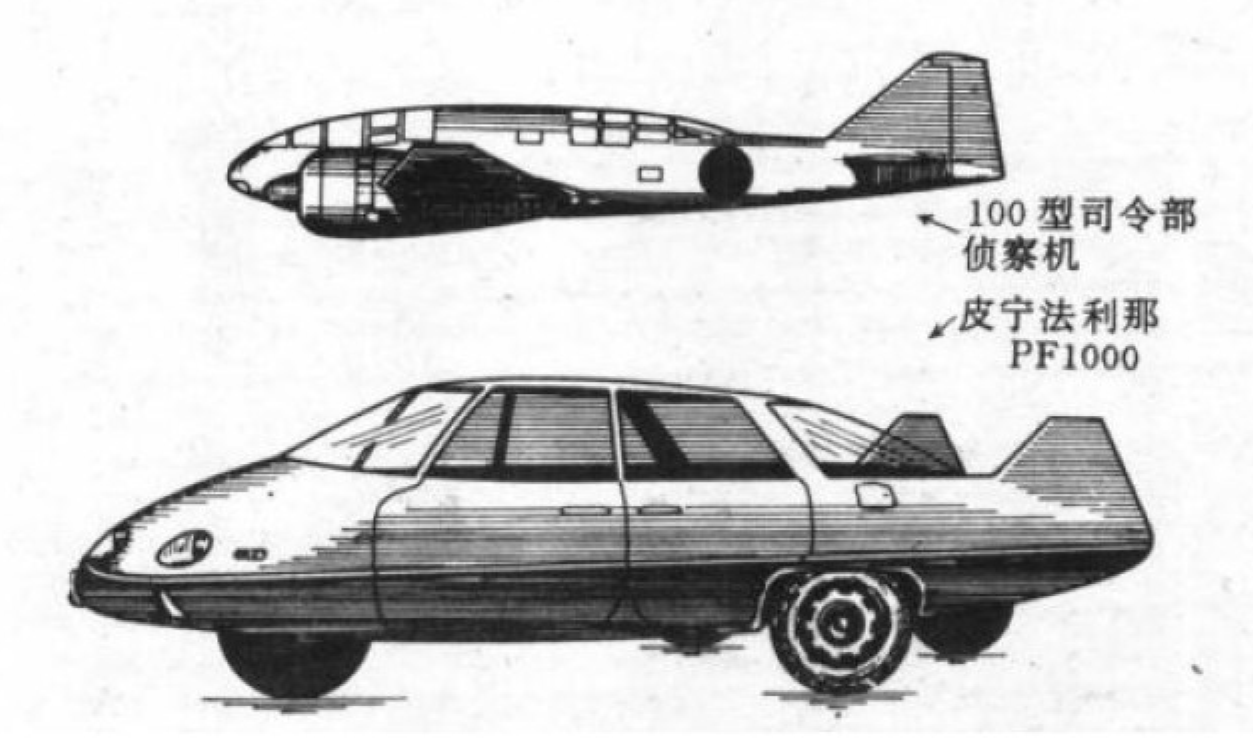


图29－3　皮宁法利那 XPF 1000（1960 年）。美其名曰“理想的流线形”的造型，实为 100 型司令部侦察机（1943 年）的造型

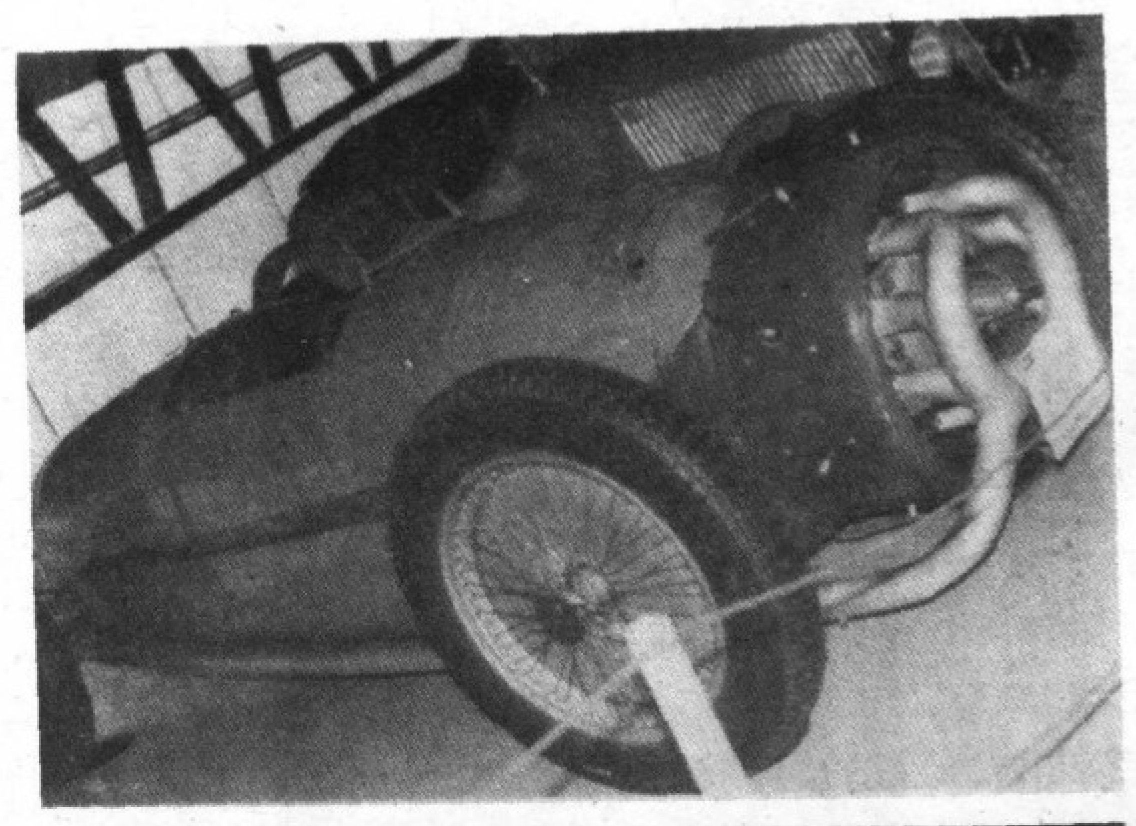
也许皮宁法利那看过被俘获后保存在英国的那架日本飞机吧。

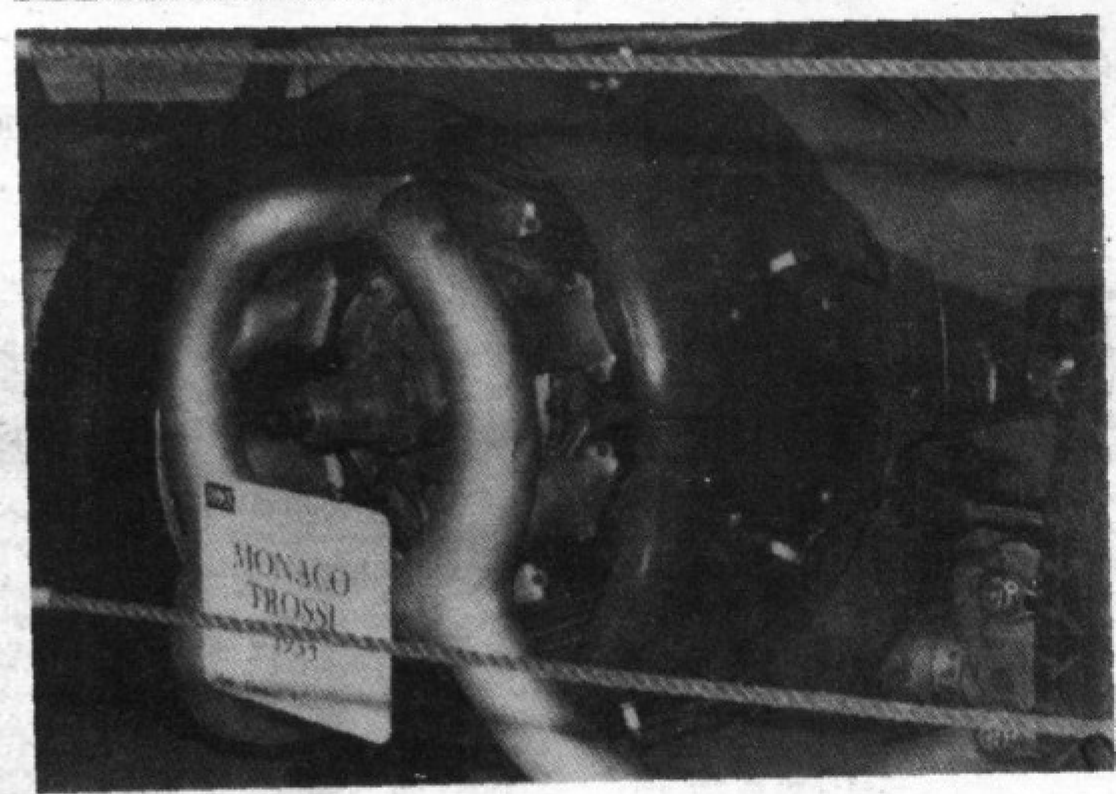
遗憾的是，这种模型后来演变成平凡的 4 轮后置发动机式（1962 年的贝尔利年塔空气动力形车），不久就被淘汰了。要求油耗降低 20%，这对单轮驱动式的期望太高了，另外还潜伏着单轮驱动的一些缺点，所以又回到了通常的形式，其优越性也就不复存在了。皮宁法利那的公开表演的目的大概已经卓有成效地实现了。但从今天的技术观点来看，优、缺点的比较、评价应该在制作样机之前就严格地进行。

象流星一般瞬间即逝的群星形象到底是什么呢？

是追求技术的一条正道吗？还是一种单纯的技术上的尝试性实验呢？或是作为商品所想提倡的迷惑性、幻想性呢？

所谓商品，商品技术应该符合用户的需求。在技术方面偶尔偏离正道不是不可以的。但是过份偏离轨道，终究难逃流逝的厄运。看清是否偏离轨道，预测商品寿命，经常感知正道，并为下一步做好感觉储备是很重要的。





照片29 - 3　摩纳哥·特罗希的星型8缸、4L、250hp/6000r·min^{-1}

（考洛特·维斯卡雷蒂博物馆）

30. 有见地的猿六村

最初，也是最后的水冷星型发动机。遵照萨尔姆森遗训的后人们。

空前绝后的水冷星型发动机

所谓[①]猿六村是奉献给著名飞机萨尔姆森的古人借用字。1919年日本引进了这种飞机并在翌年的1920年于东京炮兵厂实现了国产化。发动机除了在该厂制造以外，还在东京瓦斯电气公司（现在的日野汽车公司）制造。作为飞机用发动机恐怕是空前绝后的水冷星型发动机了（图30－1）。

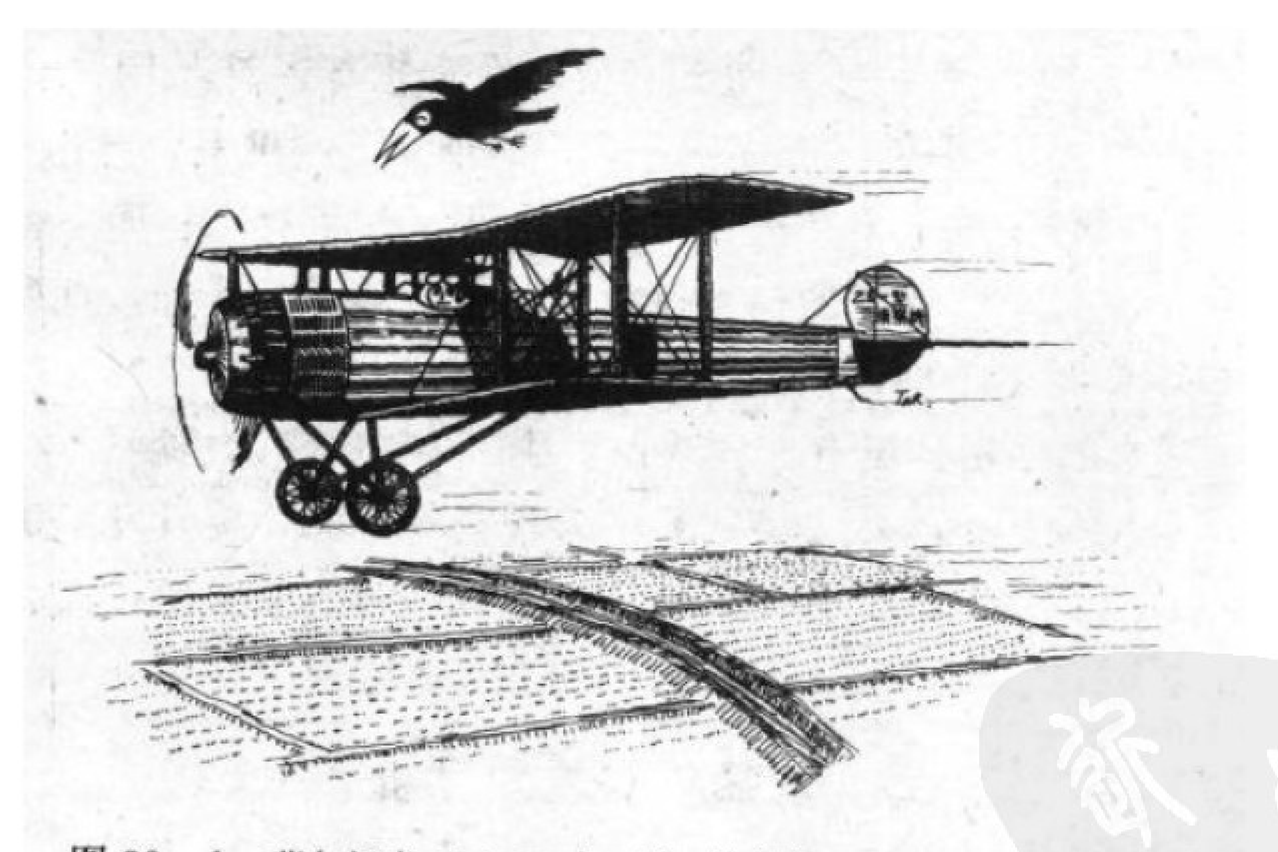


图30－1　萨尔姆森2A2（2式1型）侦察机（1919～1933年）

① 日语萨尔姆森的发音与猿六村相同

如前所述，星型发动机在尽可能将气缸暴露在空气中的意义上讲是极其合适的。但是作为飞机用发动机却存在正面面积太大，机头不能作成流线型的缺点。不过由于是空冷发动机，重量轻、维修方便，可靠性提高了，遭受轻微的敌弹也不会发生冷却水漏泄的问题，因此受到重用。然而星型发动机设计成水冷式就无可取之处了。但为什么设计成水冷式的，而且获得成功了呢？

出乎意料的是回转式空冷星型发动机几乎与固定式水冷星型机同时诞生的：由萨尔姆森设计的最早 7 缸水冷星型发动机是在 1911 年完成的，并装在布雷盖双翼机上。而格诺姆的回转式风冷星型机完成于 1909 年。按当时的飞机速度，固定式空冷发动机冷却不充分，因此诞生了回转式；反过来又因空冷发动机冷却不充分，因而出现了水冷式，这种转换再自然不过了。因为冷却好坏与发动机输出功率的增减有极大关系。

据记载在一战期间，战斗机驾驶员喜欢装有星型发动机的坐机，而不喜欢直列型及 V 型发动机的坐机。其理由是前者可靠，后者的发动机曲轴箱（发动机本体）经常损坏。这是因为直列型（V 型也然）发动机气缸纵向排列，曲轴变长刚度差。另外，气缸上支撑曲轴的轴承个数多，加工精度很难达到要求；而星型机的曲轴非常短，支撑它的轴承仅前后两个就够了。此外，直列型发动机内部发生一种称作内部力矩的棘手的力（附录 A30 - 1）。当时，对它的作用还没有充分认识，因而没有从设计角度加以考虑。

综上原因，水冷星型成立的条件是充分的，况且发动机不运转空冷方式就不成立的飞机速度，足以包容正面面积过大的这一缺点，从而赢得了许多爱好者（图 30 - 2）。

坎顿·昂恩发动机

7 缸机的成功使萨尔姆森勇气倍增，他又设计了 9 缸机。这就是被昵称为猿六村的飞机用发动机。该发动机不仅出口日本，而且也畅销美国和英国，当时破天荒地得到广泛使用。

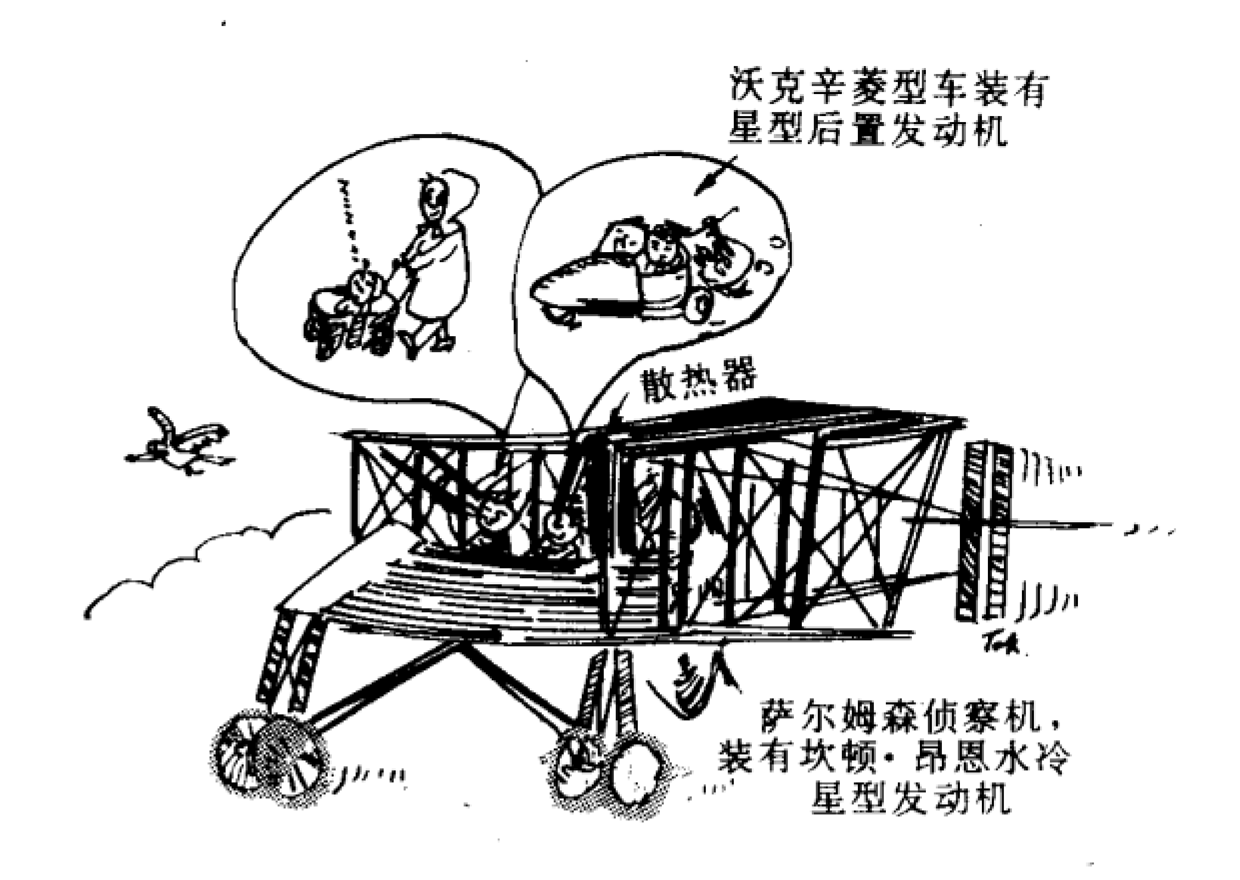


图30-2　沃克辛LA5B2侦察轰炸机(1915年)简直象带后置发动机的乳母车。乘坐舒适，与后来的沃克辛后置发动机的汽车一脉相承

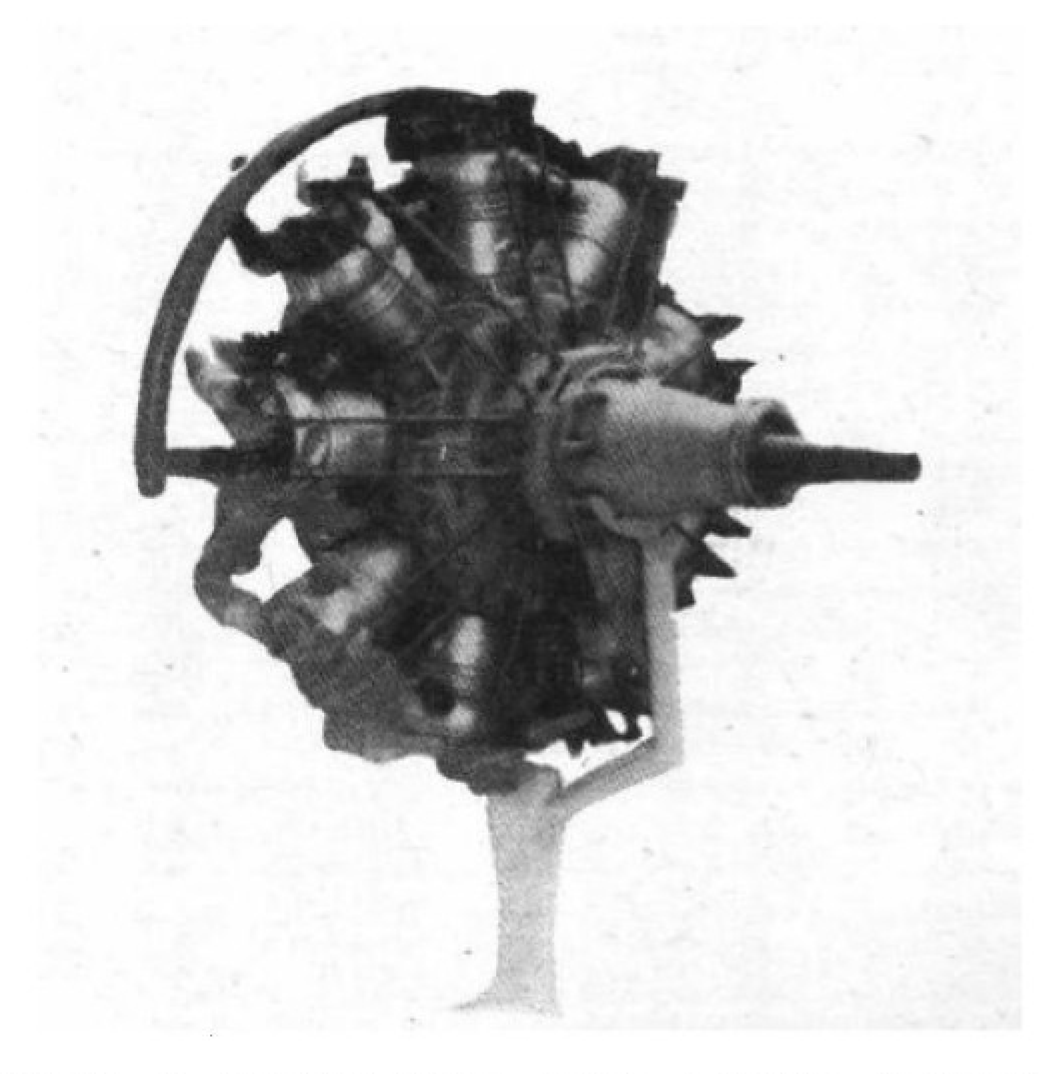
该发动机获得成功的另一个理由是，它还有一个重要的技术特点，那就是被称作坎顿·昂恩方式的曲轴与连杆的连接机构。

即星型发动机由于各缸的连杆集中在中央，曲轴转动就会互相干涉。因此通常另外使用角度稍微错开的销，使曲轴转动。这样一来，只要各缸上止点的位置相对于气缸间的角度稍有偏离，其行程也随之有偏差（参考图 A30-4）。

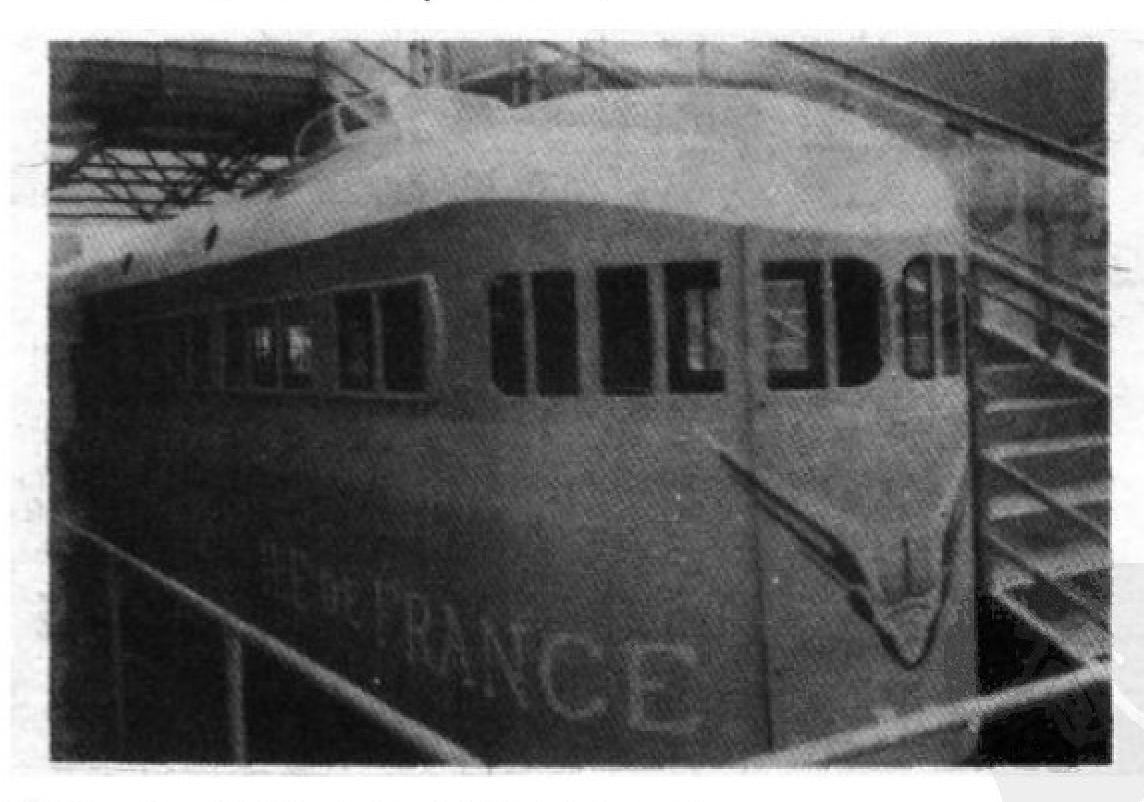
萨尔姆森在设计第一台星型 7 缸机时，雇用了两个有才干的瑞士工程师乔治·坎顿和皮埃尔·昂恩。他们为解决星型发动机的这个基本问题想出了巧妙的机构，彻底地消除了角度偏差（见附录 A30-2）。

萨尔姆森的 7 缸机和后来的 9 缸水冷星型均采用了这种机构，因此称作萨尔姆森“坎顿·昂恩”发动机（照片 30-1）。

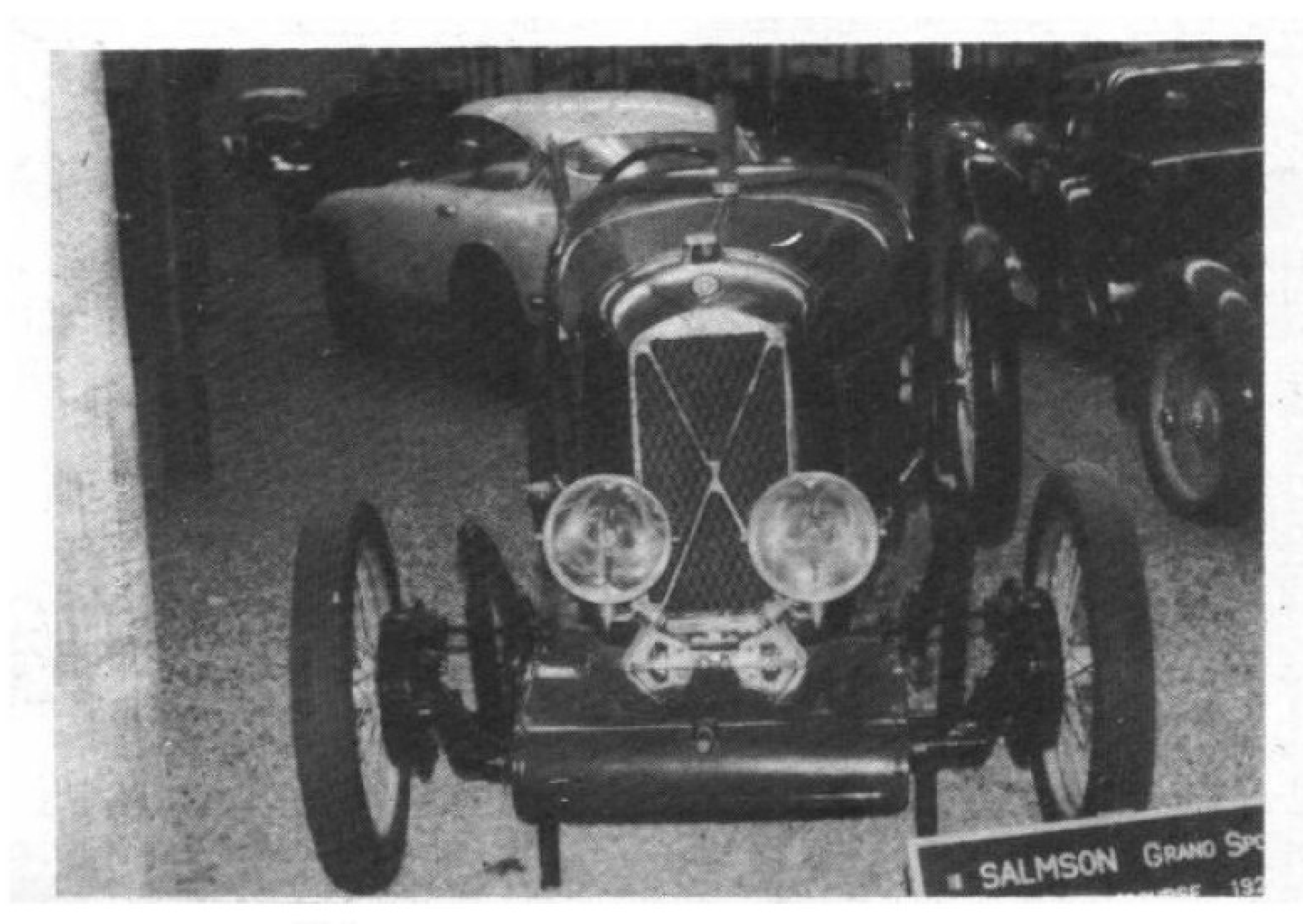
1919 年法国最早的商业用客机法尔曼·戈里亚特就装用这种发动机，活跃于巴黎至伦敦或卡萨布兰卡之间。此外，该机可运载 25 个乘客，创造了飞行高度达 5100m 的纪录等，显示出它的优越性能（照片 30-2）。但是水冷星型必然与回转星型机一样，到



照片30－1　萨尔姆森“坎顿·昂恩”M9发动机，沃克辛及猿六村侦察机用130hp，由东京瓦斯电气公司国产化，后来功率提高到280hp（巴黎航空博物馆）



照片30－2　象特快电车一样的法尔曼·戈里阿特客机的机体。在机体的上下有巨大机翼，靠两台萨尔姆森发动机使这架巨型飞机把巴黎、伦敦、布鲁塞尔、卡萨布兰卡连接起来。日本在1921年用来作T型轰炸机（巴黎航空博物馆）



照片30－3　萨尔姆森1926年型格兰·舒波尔特
V·A·L（施伦普博物馆）

此就寿终正寝了。萨尔姆森后来只作了一种普通的空冷星型机就转向搞汽车了（照片 30－3）。

萨尔姆森的继承人

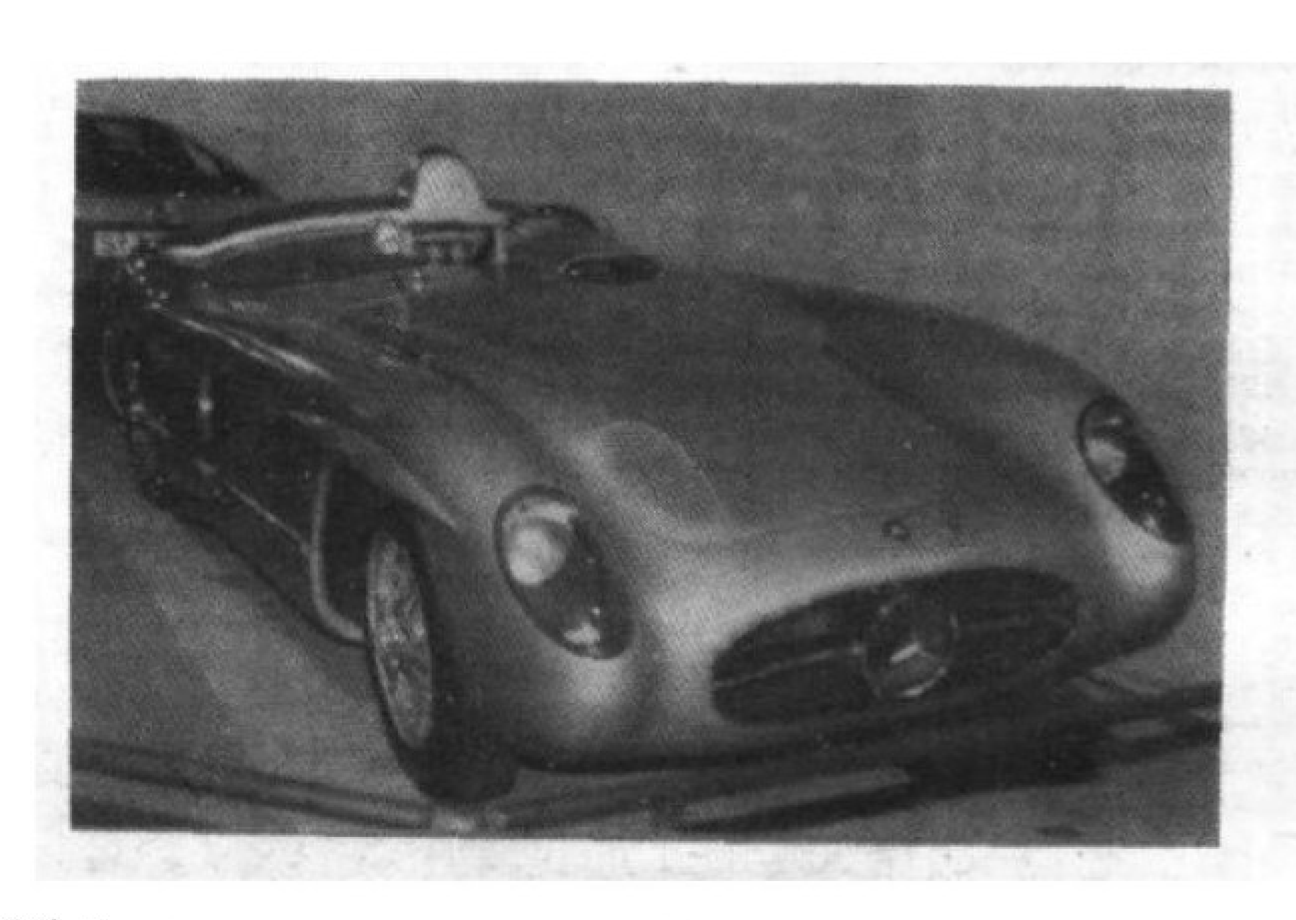
一战结束后，萨尔姆森的公司（SMS 公司 Soiétédes Moteurs Salmson）也与其它飞机制造厂家一样决心开始制造汽车。但萨尔姆森本人于 1917 年辞世。然而他的开拓精神，为他的后辈，特别是其正宗弟子埃米利·佩蒂斯所继承。

即，在历史上留下了最早的 TOHC（双顶置凸轴，为提高高速性能，将驱动进排气用的两根凸轮轴布置在缸盖上的发动机）的批量生产（1922 年）和最早装有电动机起动器的发动机（1927 年）。特别是即使在今天仍为高级跑车采用的称作逆转吊桶式（桶倒置式的凸轮接触部分）的 TOHC 机构是由本特雷仿制的，战后

由拉戈达继承并一直沿用至今。

令本茨倾心的萨尔姆森的先进性

二战的创伤逐渐平复的1954年6月，首次在法国汽车大赛上亮相的装上了革新后的直列8缸、2.5L、300hp发动机的本茨赛车一举夺魁。直至该车自动退出赛场之前共取得了15次汽车大奖赛桂冠的伟绩（照片30-4）。



照片30-4 在1954年法国汽车大奖赛上获胜的本茨赛车。在后来的所有竞技上均独领风骚的本茨·福来拉发动机是模仿猿六村发动机的

该发动机从8个并列的气缸中央，即在每4个缸的合拢处输出功率，将施加于曲轴上的力分成两部分，以达到轻量化的目的，采用了滚柱轴承的曲轴轴承，汽油直接喷射，不靠弹簧开关气门的气门结构（Desmodromic）方式。在此，我不由得想起在我和我的同事们知道这种革新结构的当时，曾十分震惊，由衷感佩的情景。然而它与27年前——1927年时的猿六村直列8缸型竞赛用发动机，除汽油喷射外，几乎完全相似（附录A30-3）。

勿庸置疑，本茨的工程师们是从埃米尔·佩蒂的设计中得到启发并进而效仿的。据文献记载猿六村的8缸机在1931年也被阿

尔法·罗密欧模仿过。该公司的维托里奥赛车与猿六村发生共鸣，经过蒙札汽车大奖赛的磨炼后，制作出威名大振的P3型赛车。

猿六村发动机在1930年5月的汽车大奖赛后就停止生产了。但是始于水冷星型发动机的许多技术却以有别于商品性风格保存了下来。

附录A30-1 发动机内部力矩

例如，如果一个胖人站在圆木桥上，桥的挠度就要变大，桥

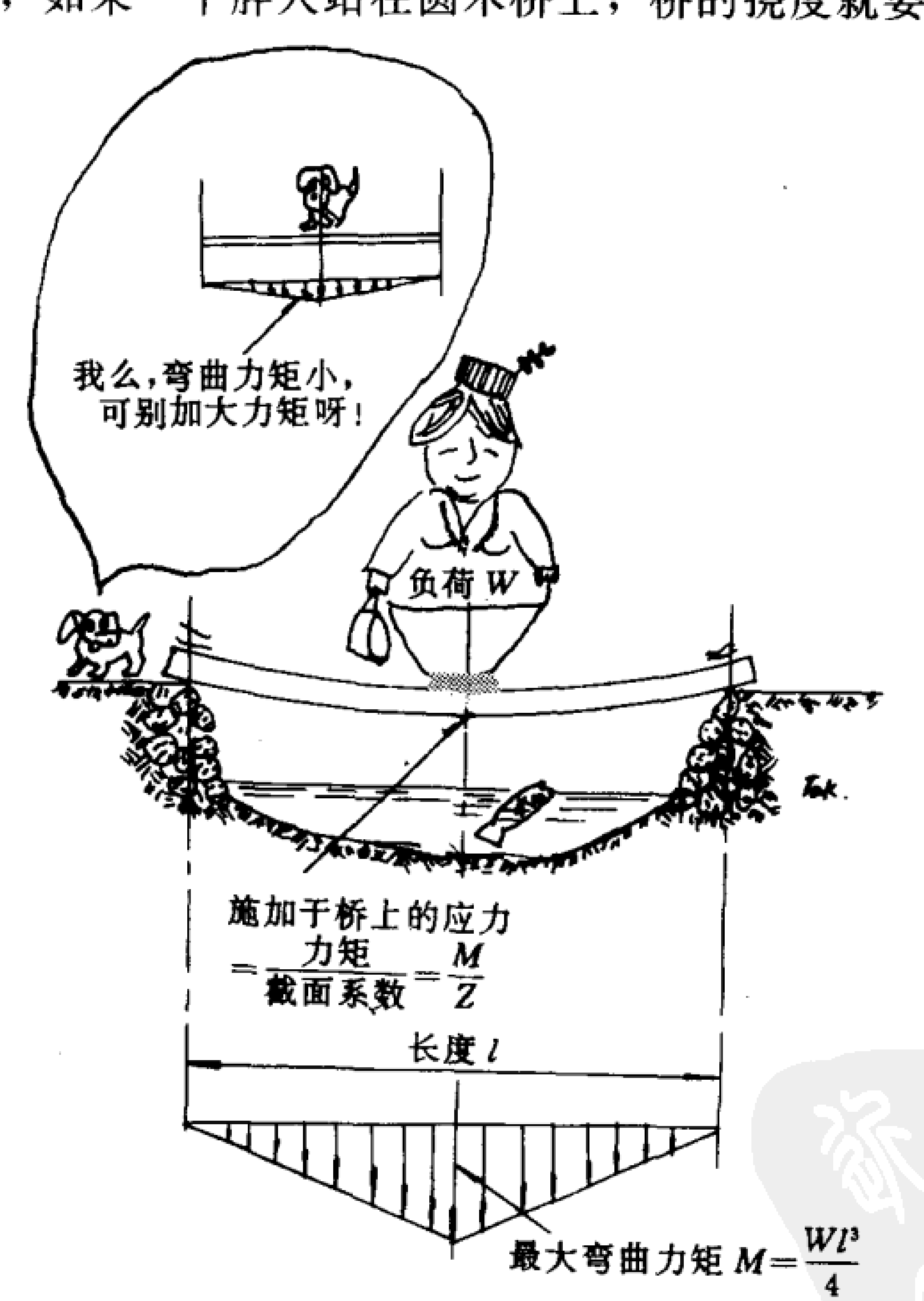


图 A30-1 当桥长为 l 时，弯曲力矩则与负荷 W 成正比

容易折断。如图A30-1所示，施加在桥上的弯曲力矩M变大，作用在桥上的应力如果与桥截面相同，则与力矩成正比。如果把桥

比作曲轴，那么曲轴除了承受活塞、连杆的惯性力以外，还承受爆发压力造成的很大的力，而它作为力矩作用。另一方面，使发动机本体定位的曲轴箱，由于发动机运转而内部力矩增加。

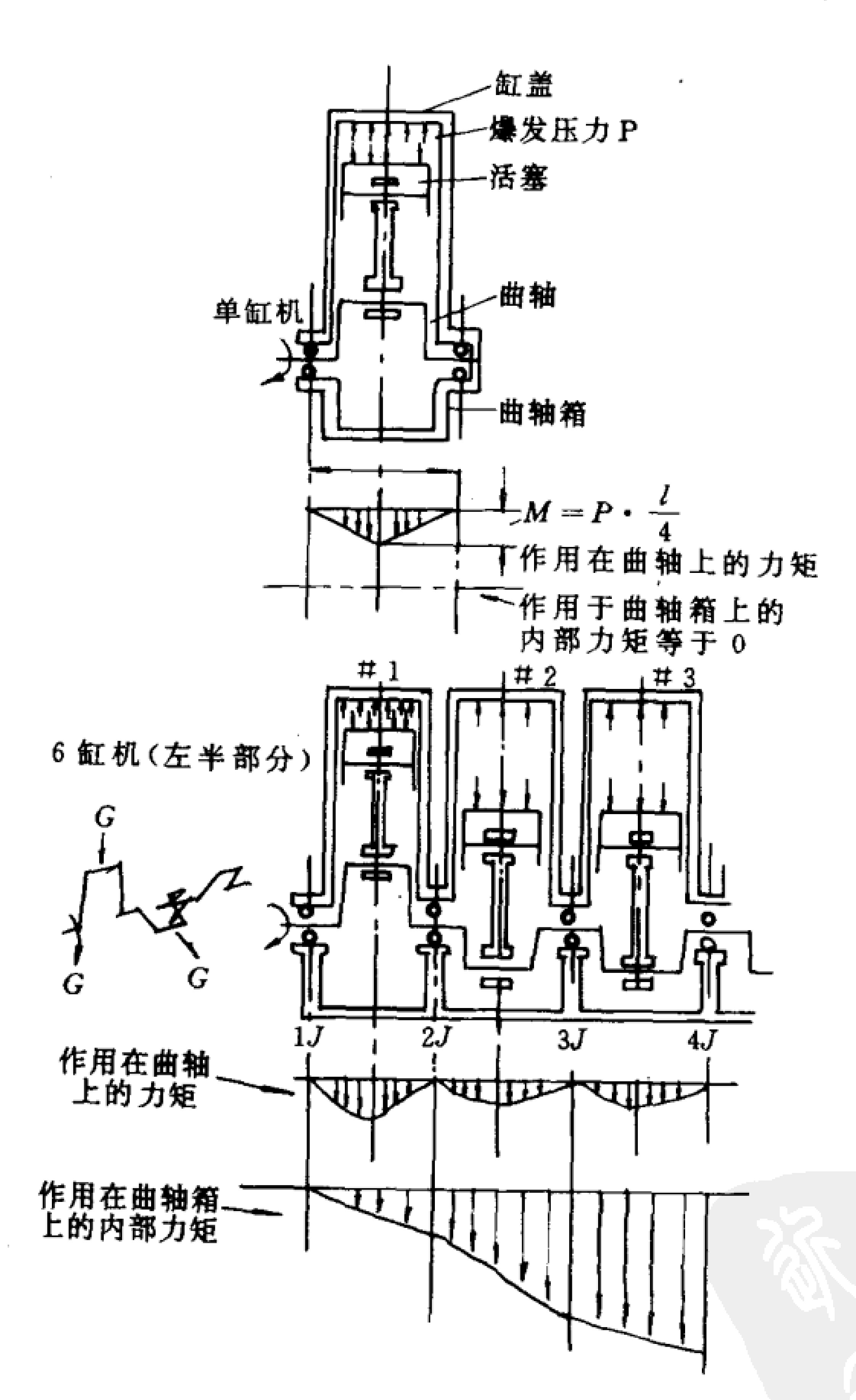


图 A30 - 2 发动机的内部力矩

图 A30 - 2 示出单缸机和 6 缸机的内部力矩。单缸机的爆发压力在气缸里活塞和缸盖间抵消。而曲轴上爆发压力与活塞、连

杆的惯性力同时作用，产生弯曲力矩。不过曲轴箱（相对于各轴承部分）不产生力矩。

相比之下，对 6 缸机而言，假设其中每个缸施加于曲轴的力矩与单缸机相同（严格讲因曲轴与邻件相连，故其大小并不同）。但相对于曲轴箱产生了另一种力矩。即，各缸里的爆发压力在气缸中互相抵消，只有活塞和连杆的惯性力，如图 A30－3 所示，在各缸中还作用着随相位而变的离心力。这些离心力在直列型时，作为力矩作用于曲轴箱上，称作内部力矩

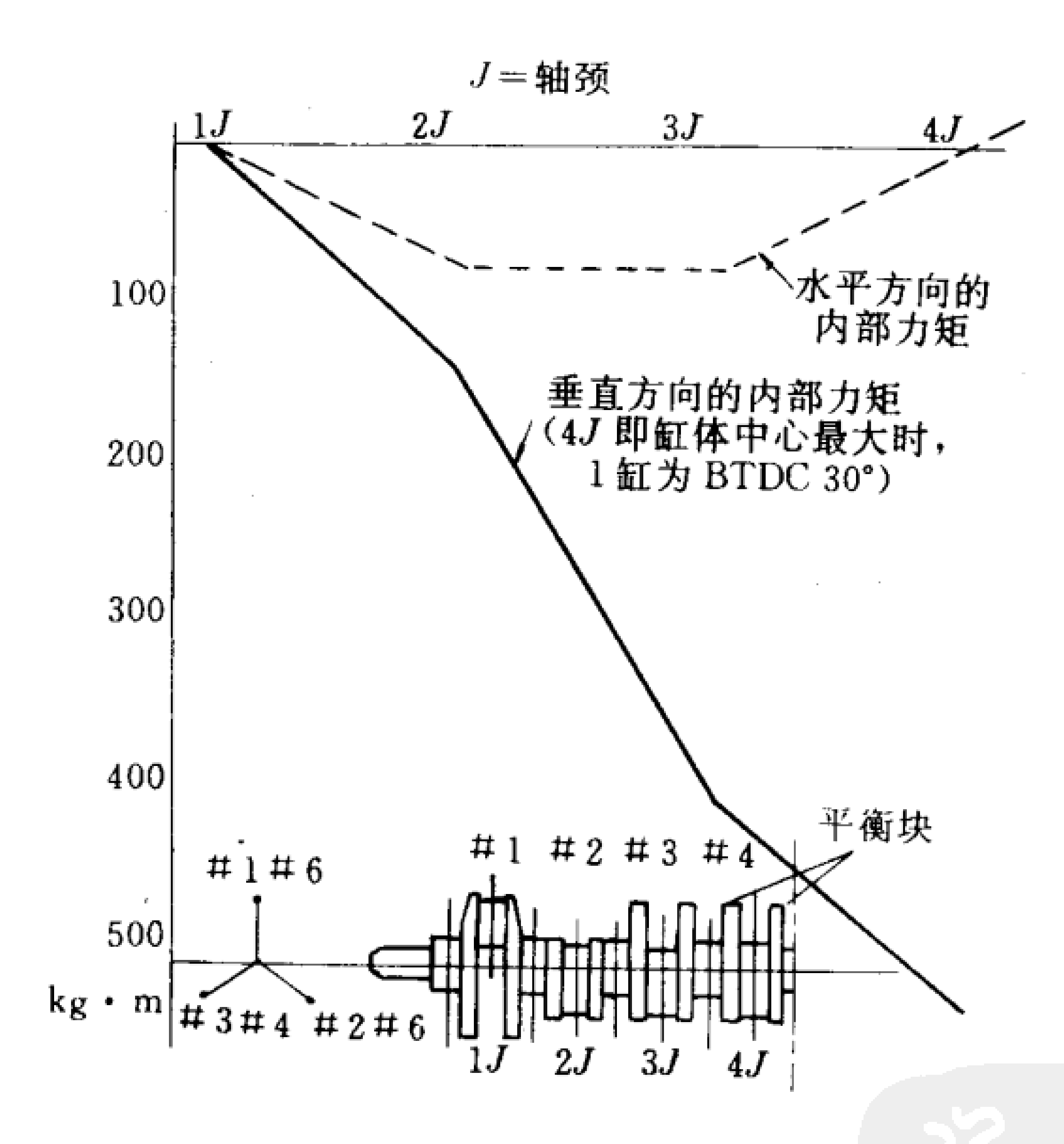


图 A30－3 内部力矩的例子

（日野 HO7C 发动机）

然而，星型发动机（单列）的场合，因为气缸仅是在同一面放射状地排列，所以和单缸情况一样，对曲轴箱不产生力矩，因而也不发生应力。另一方面，直列型或 V 型发动机因装在曲轴上的平衡块的大小或有无，这种内部力矩自然受很大影响。例如，直

列6缸即使没有平衡块，但因前后是对称的，而且点火相对于发动机回转角来讲是等间隔的，外力平衡，看上去发动机运转平稳。但是，内部力矩却因平衡块的有无而有很大变化。

图A30-3为直列6缸机的内部力矩之计算例。因为曲轴各缸的惯性质量随着发动机的旋转而不停地转动，例如垂直方向的力矩也随之变化。图例示出了第4个轴颈（4*J*）最大时的垂直方向力矩与这时的水平方向力矩。4*J*最大时的位置，在此例中是1缸（#1）的活塞在上止点前（BTDC）30°的位置。

此例是带平衡块的例子，不带平衡块时，此值约为带平衡块时的2.5倍。另外以V型8缸机为例，加不加平衡块，其内部力矩相差5倍。在一战前后，人们对内部内矩的认识还很肤浅。因为几乎发动机都不加平衡块，因此单列型和V型往往发生曲轴箱龟裂和损坏的事故，飞行员的评价不好。

在润滑理论进步，能够计算轴承部分的油膜厚度以后，就认识到这种内部力矩的大小对油膜厚度有很大影响。最近，把曲轴的平衡块设计成各种形状，以便将油膜厚度控制在界限值以内。

当然还要考虑内部力矩对缸体强度的影响，也逐渐认识到局部应力和剪切力的影响很大。在进行缸体设计时，必须对有关方面进行细致的研究。

附录A30-2　坎顿·昂恩系统

星型发动机不能用一根曲柄销连接所有气缸的连杆，故如图A30-4所示，在主连杆上设置了十字销，把连杆连接在十字销上。这样一来，如图所示，与主连杆在长度上只差ρ，并且相对于曲轴中心的相位角不同于主连杆，因此各缸的行程和上止点位置均错开了。

因此，坎顿和昂恩想出了图A30-5所示的巧妙的系统。即取消主连杆，把连杆连接在圆板*F*上的十字销上，使圆板*F*通过齿轮*M*和*L*在固定齿轮*K*的外周转动。齿轮*L*、*M*和*K*借助连杆

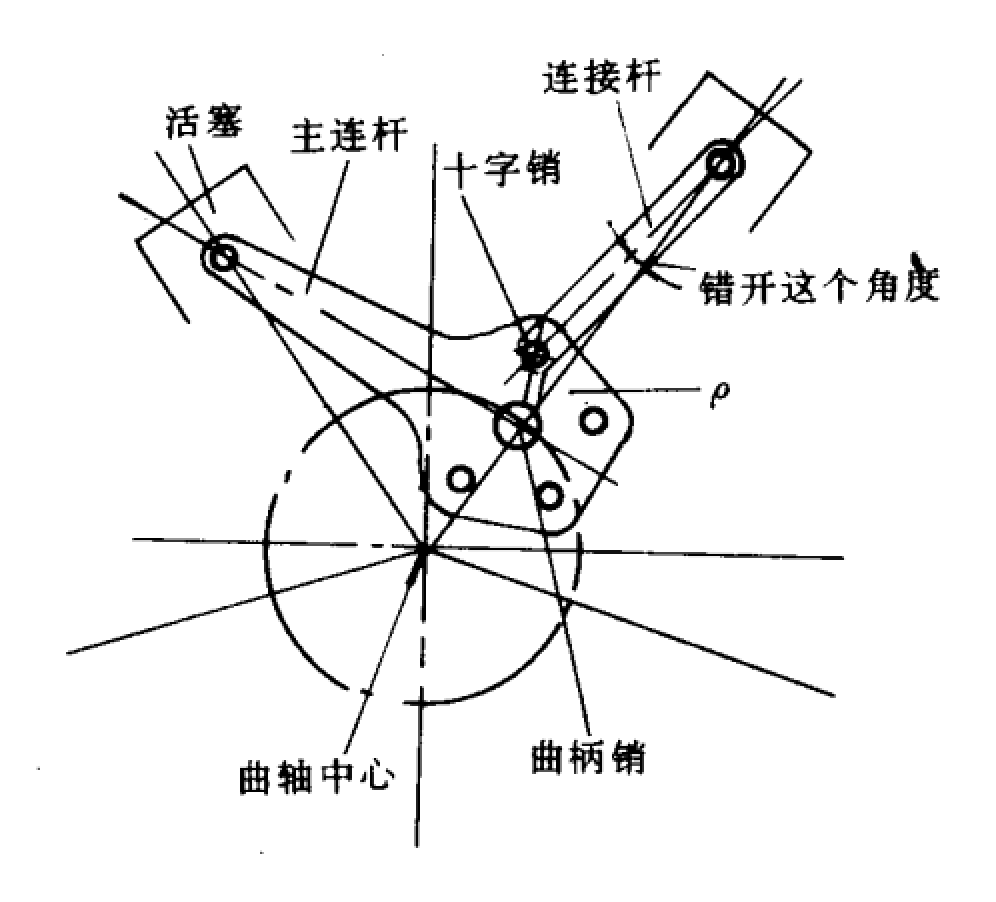


图 A30 - 4　星型发动机的主连杆和连接杆

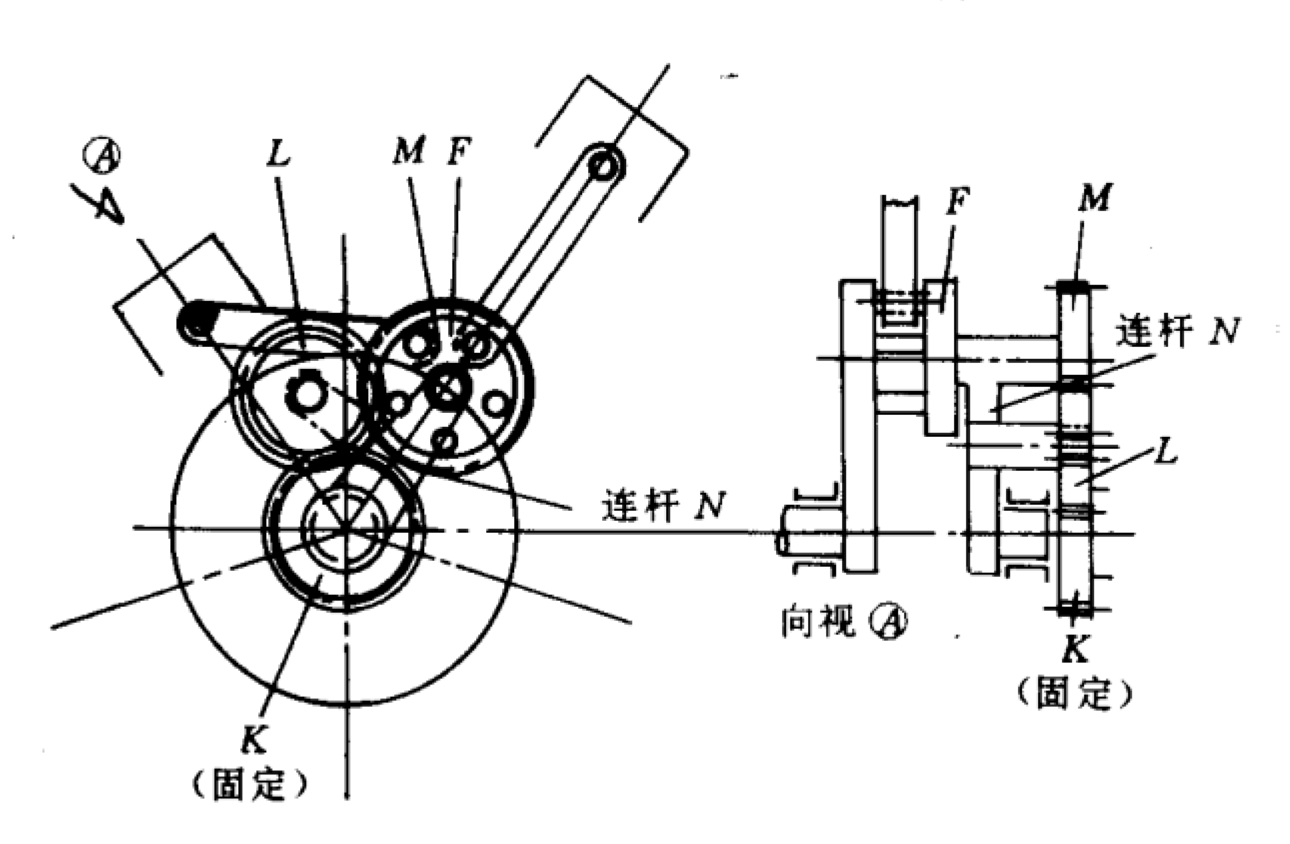


图 A30 - 5　坎顿・昂恩系统

N 组合起来，各缸的相位角度差和行程差都不存在了。

但是，后期常见的星型发动机采用不同长度连杆和不等角点火用镁制凸轮等措施来解决上述问题。早期的发动机没有采取上述措施，即使不平衡可就那么用了。坎顿・昂恩系统只在萨尔姆森第二代发动机上用过，不久便消声匿迹了。既然有上述那么简单的系统，谁还用结构复杂、成本昂贵的坎顿・昂恩系统呢！往

往看上去很粗俗的措施却比技术上高雅的措施更有商品化优势。

附录 A30 - 3　本茨·福米勒发动机与萨尔姆森发动机的相似性

图 A30 - 6 示出 1927 年萨尔姆森直列 8 缸赛车发动机，图 A30 - 7 示出 1955 年本茨直列 8 缸赛车发动机，下面从两者均采用的气门机构予以说明。

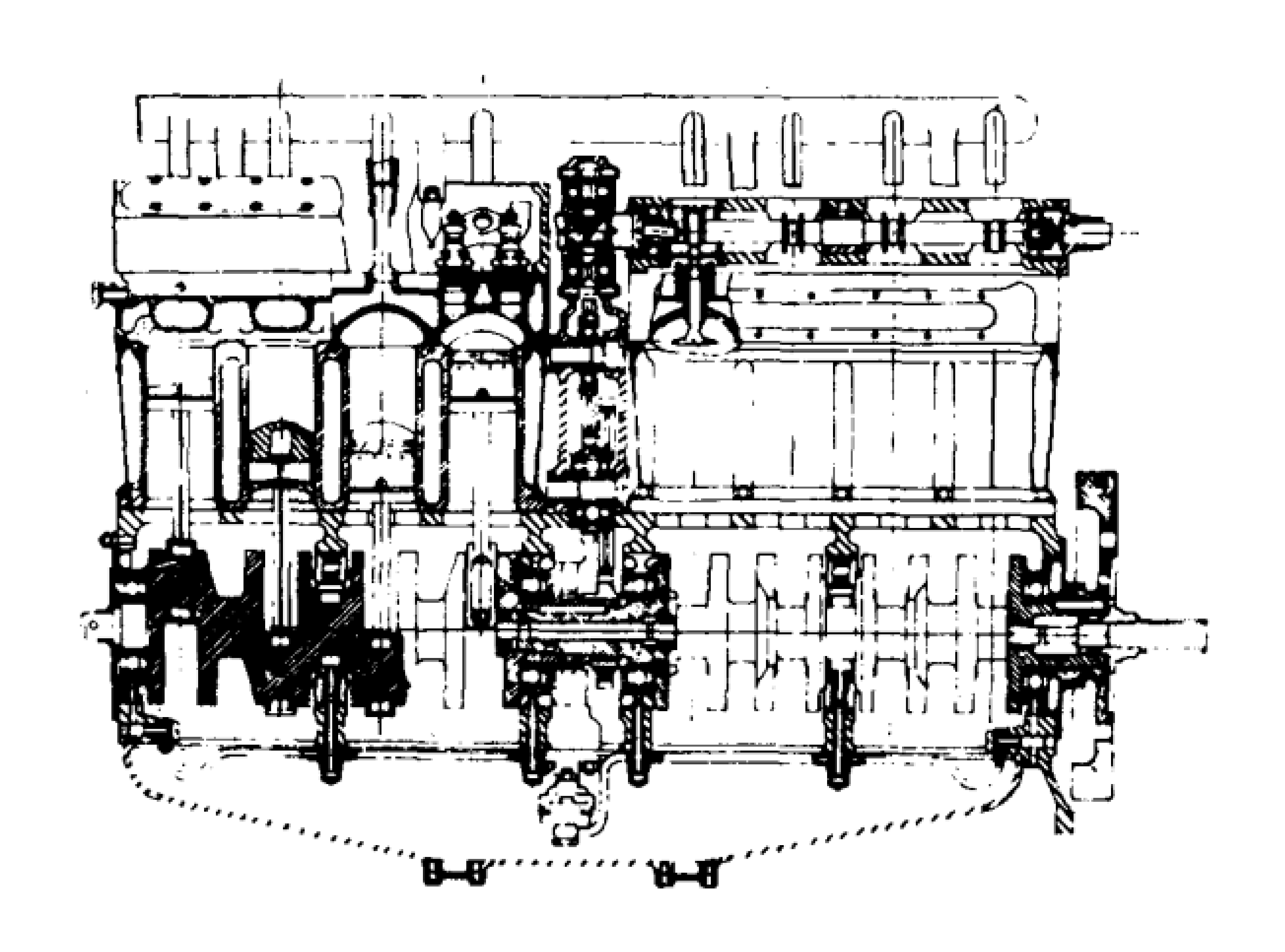


图 A30 - 6　萨尔姆森直列 8 缸、赛车用发动机（1927 年）

如照片 A30 -1 所示，通常的阀装置是利用阀簧使阀门追随凸轮形状，而气门机构则不用阀簧，是用特殊形状的凸轮和随动机构强制性地开关阀门的结构。

通常的阀装置由于弹簧颤振（压力波），发动机转速受到限制，因此阀门的张开高度（升程）也受限制，因此性能受到制约。或者为了避免这些现象，必须把弹簧制作得强劲些，与随动机构之间的接触压力就会过大，造成耐久性不足。为了避免这种现象，又依次加大凸轮、随动机构以及阀设计，就这样恶性循环下去，是站不住脚的。在这种情况下，如能取消气门弹簧，采用几何形状

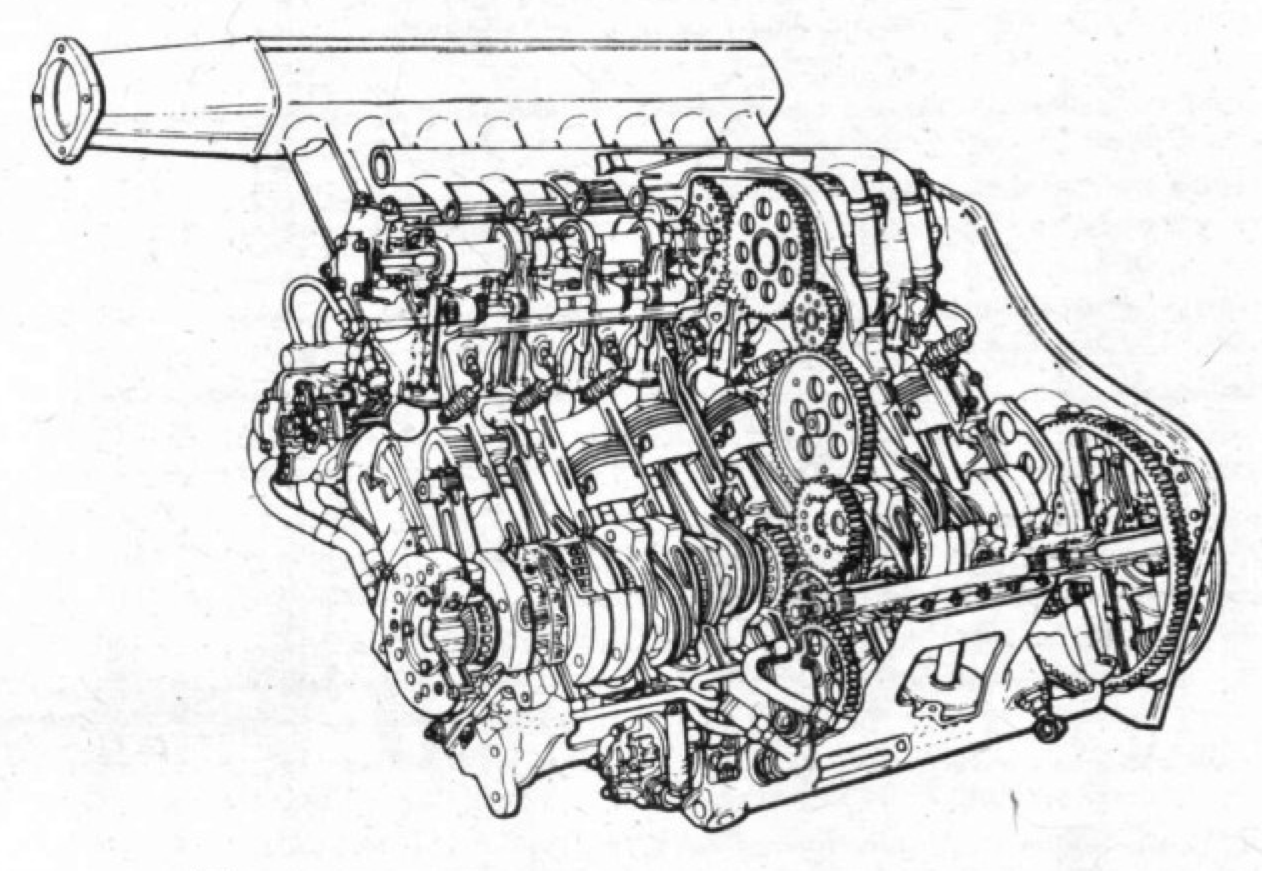
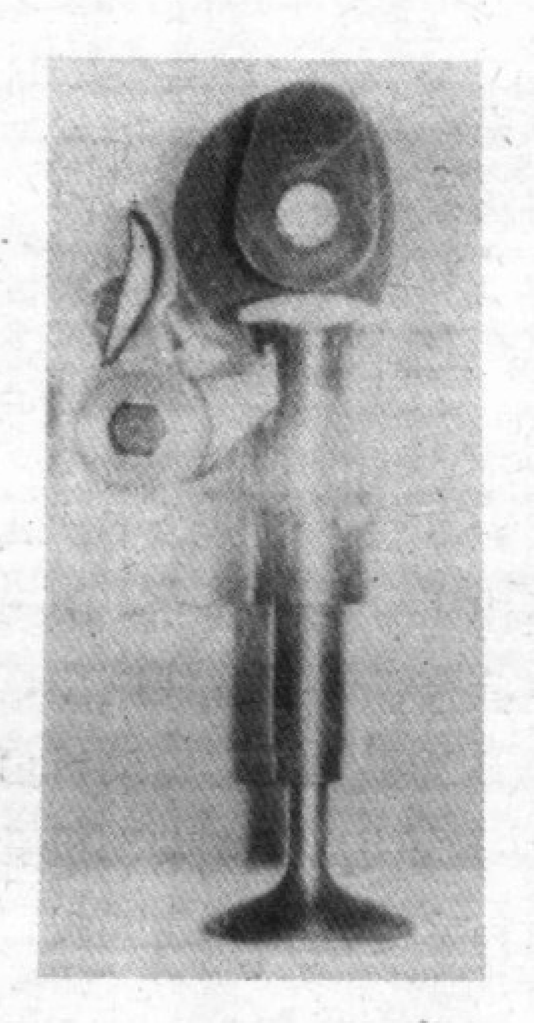
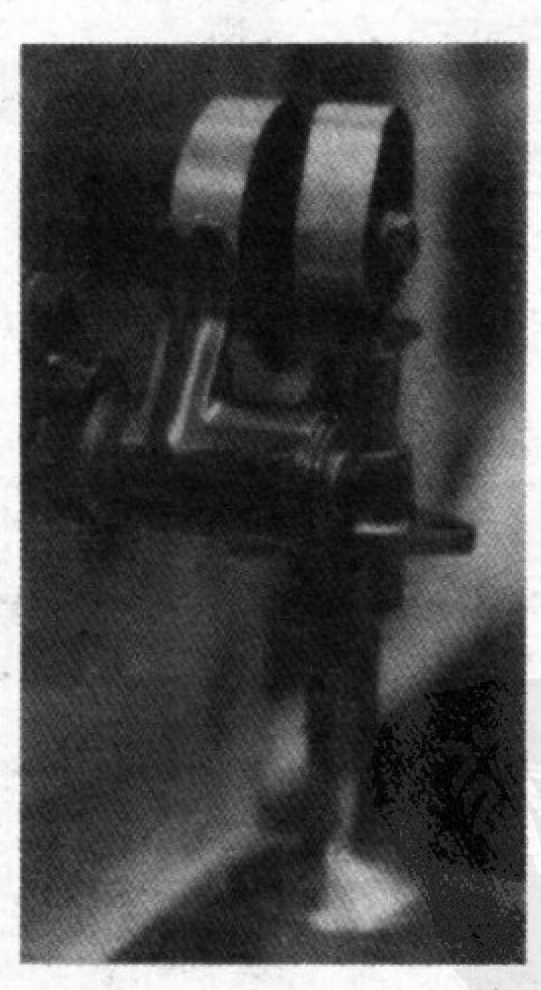


图 A30 - 7　本茨直列 8 缸发动机（1954～1955 年）





照片 A30 - 1　Desmodromic 系统（配气机构）（卡宁加姆博物馆）

的机构，强制地开关气门的话，这种矛盾便迎刃而解，如图 A30

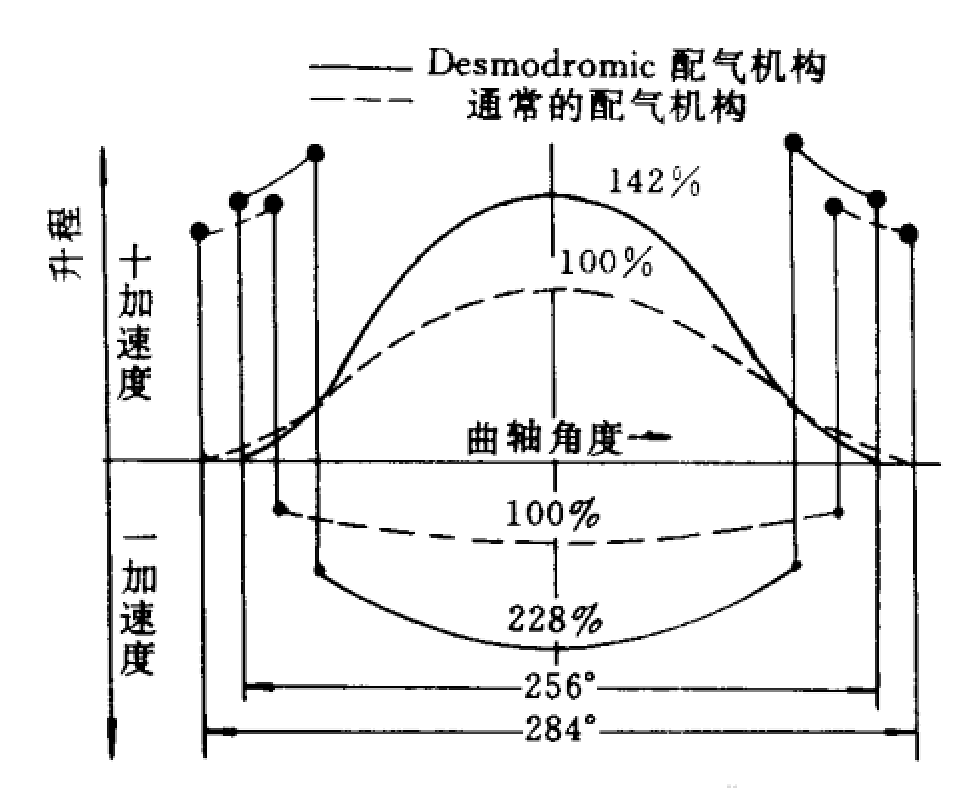


图 A30 - 8 采用 Desmodromic 系统，大幅度地提高了气门升程

- 8 所示，可以得到比通常大得多的升程，并且发动机的转动也不受约束地得以提高。本茨的技术人员与古老的萨尔姆森产生共鸣，他们的想法总算让人理解了。

但是，气门机构的阀座即便发生一点点磨损，也必须马上进行微调整。否则，尤其是排气门的阀座等要烧坏的。因此，萨尔姆森不是采用彻底的气门机构，而是与阀簧并用来解决这个问题的（称作半气门机构）。而本茨毅然去掉阀簧，研制出微调结构，完成了完整的气门机构。

两发动机都是每 4 缸 1 组，共分 2 组，这也是本茨在技术上重点效仿萨尔姆森之处。萨尔姆森由于分成两部分，解决了气缸刚性问题。也就是说当时的车辆没有借助于悬置橡胶垫，是直接将发动机安装在大梁上的。因此象 8 缸那样长形发动机由于大梁扭振，往往使缸体损坏。而把缸体分成两部分，发动机变柔，可以避免缸体损坏，曲轴和凸轮轴都有利于刚性并耐扭振。本茨为了进一步彻底解决问题，从中央部提取来自曲轴的主动力。本茨不是萨尔姆森的仿造，而是认真地消化和吸收了萨尔姆森的技术，加以模仿的。

然而，气门结构在本茨·福米勒以后，仅在斯卡拉布的赛车上使用过，从此便消失了。这是因为，阀升程约为阀直径的 1/3，开口截面几乎与阀直径截面相等，再往大开，也收不到相应的效果；阀簧等的材料改进了，再者这种结构要求精度过高，对阀座的轻度磨损进行微调的机构太复杂；成本高等（但是，它也有一部分铁杆拥护者，例如在摩托车上仍有采用的）。

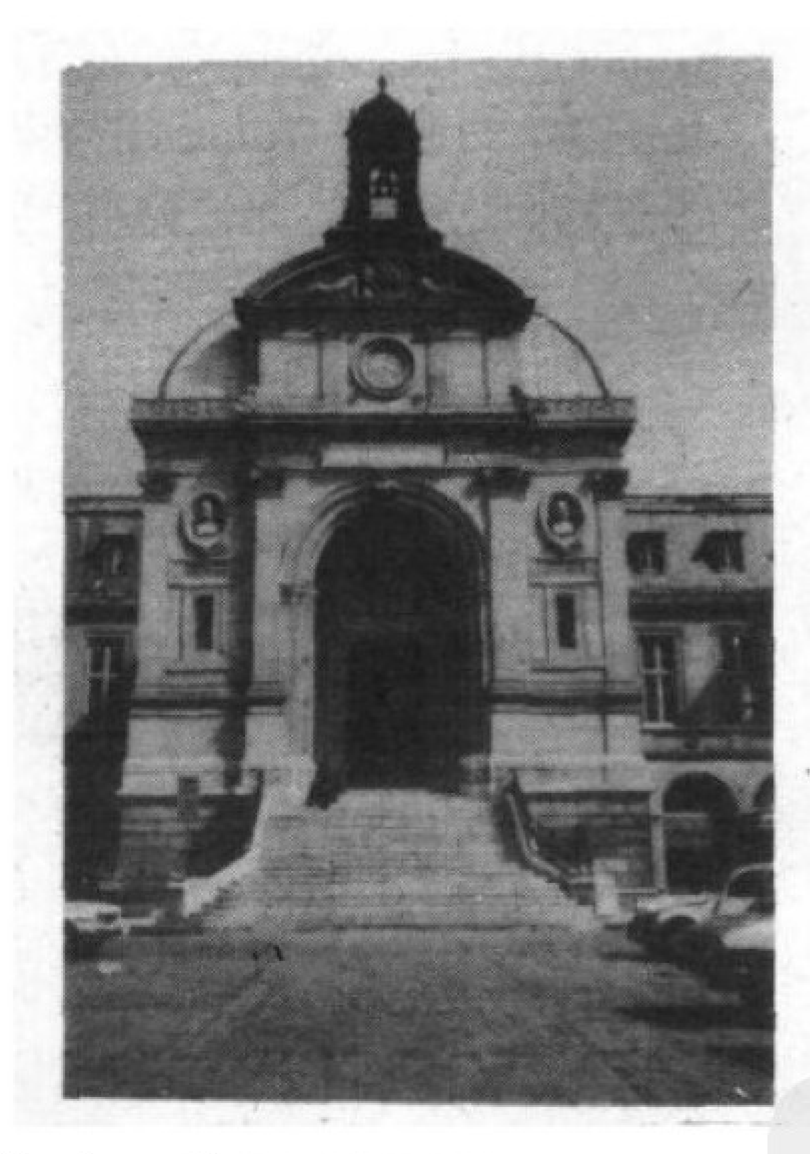
顺便提一下，气门结构不是萨尔姆森发明的，是由厄恩斯特·亨利最先在 1912 年别儒的汽车大赛车上使用的。已述的倒置吊桶式 TOHC 发动机，实际上是他最先在 1919 年设计的。

另外，Desomdromic 这个词，是指这种特殊阀系的用语，是希腊语，即贴紧（dromos）和驱动（running）的组合。别儒公司的销售人员也许是出于感激之情制造生产的吧。

31. 星星重又闪烁了吗？

改为猿六村（水冷星型）的两颗巨星。水冷星型在结构上可以省油吗？

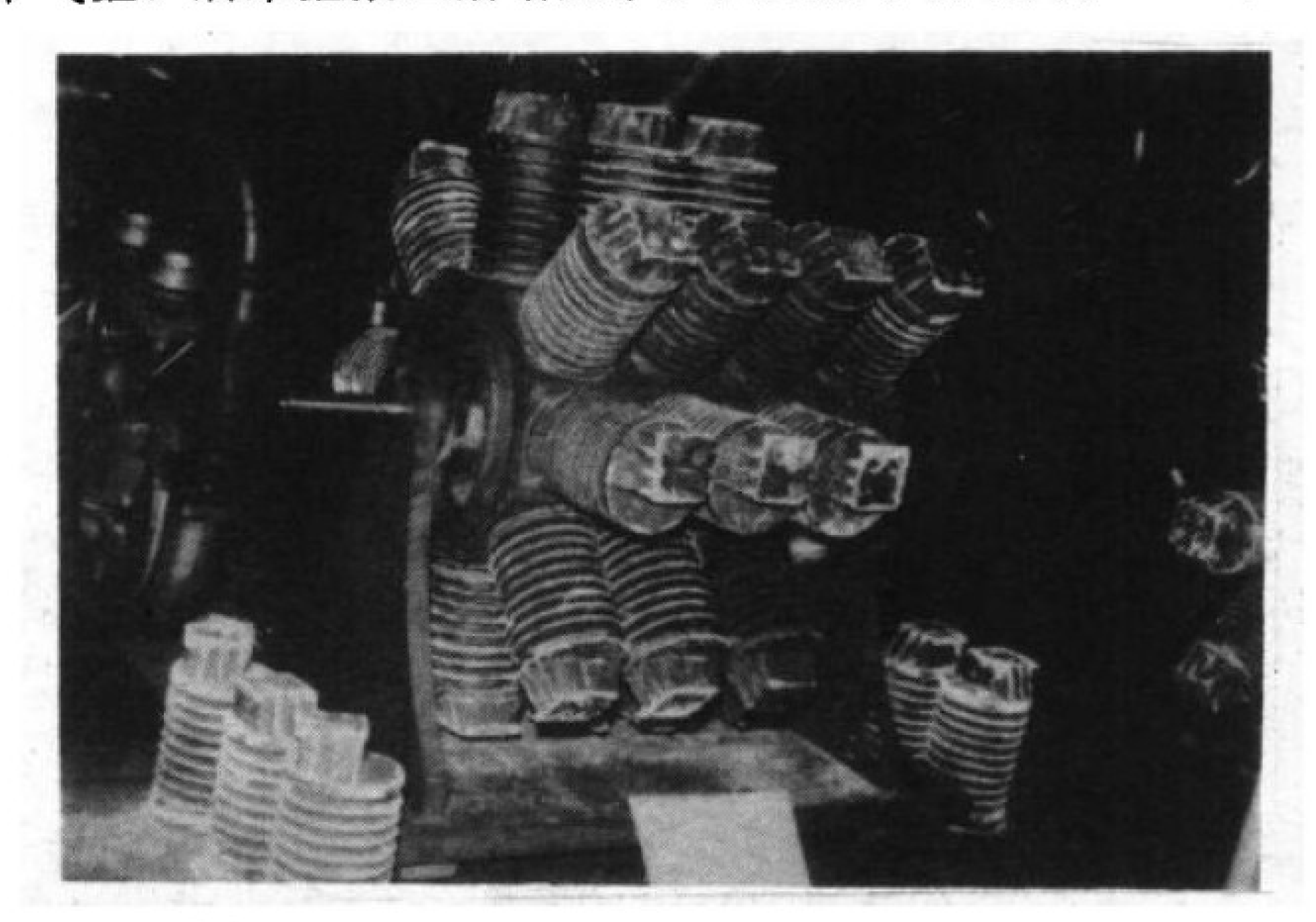
宛如慧星的星型发动机的命运



照片 31 - 1 巴黎国立工艺博物馆，其建筑为古老的教堂

巴黎国立工艺博物馆的建筑是一座古老的教堂（照片 31 - 1)。室内昏暗，在阴暗、潮湿的石砌角落的柜橱里，我意外地发现了 4 列星型排列的发动机模型。上面写有“1888 年费尔南德·福雷斯特制作”。福雷斯特后来又在 1891 年首次将进排气门作成机械驱动式。

如前所述，早期的发动机就象在本茨车上见到的那样，只有一个气缸，后来缸数逐渐增加了。因此这个古老的多缸机模型不



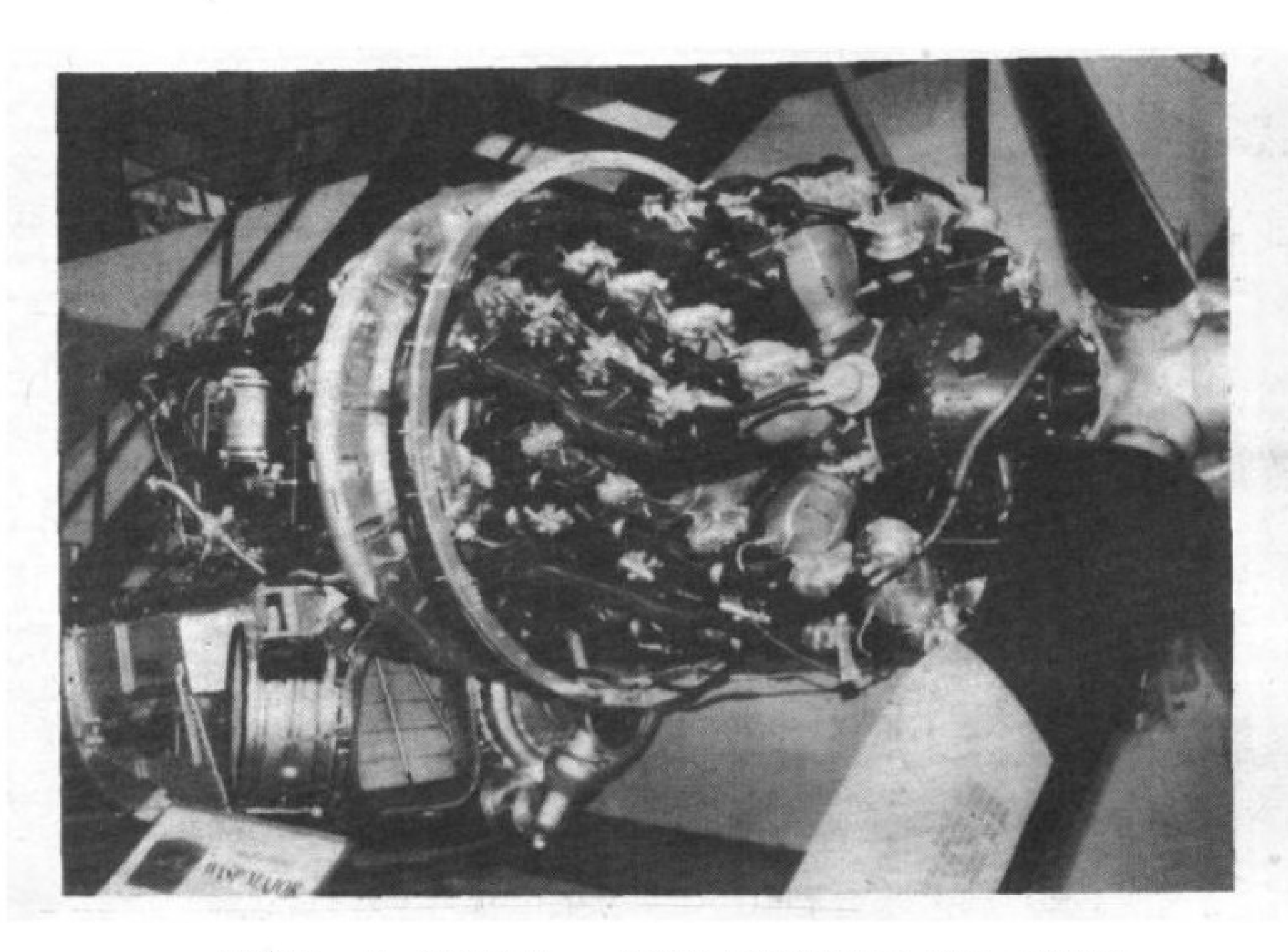
照片31－2　费尔南德·福雷斯特在久远的1888年制作了4列星型发动机的模型。仿佛预言了1946年3500hp发动机的出现（巴黎国立工艺博物馆）

能不让人惊叹。如照片31－2所示，福雷斯特的这个模型为4列星型32缸发动机。最初的空冷星型发动机只有三个气缸，以后逐渐多缸大功率化的。最终发展成1946年完成的普拉特-惠特尼公司的4列星型28缸、功率达到3000～3500hp的发动机。现在该发动机已被剖开，保存在美国的拉克兰德空军基地。（照片31－3）。

看上去，这台发动机简直就象以58年前福雷斯特的样机为模型制作的。本茨和戴姆勒在1885年完成了单缸汽油机，而3年后福雷斯特便预见到它的发展趋势，由此可见他的远见卓识。

美、德试制液冷星型发动机

普拉特-惠特尼4列星型空冷、28缸发动机越看越复杂、巧妙。空气导流板的配置巧妙地贯穿于整个结构，其形状的复杂胜



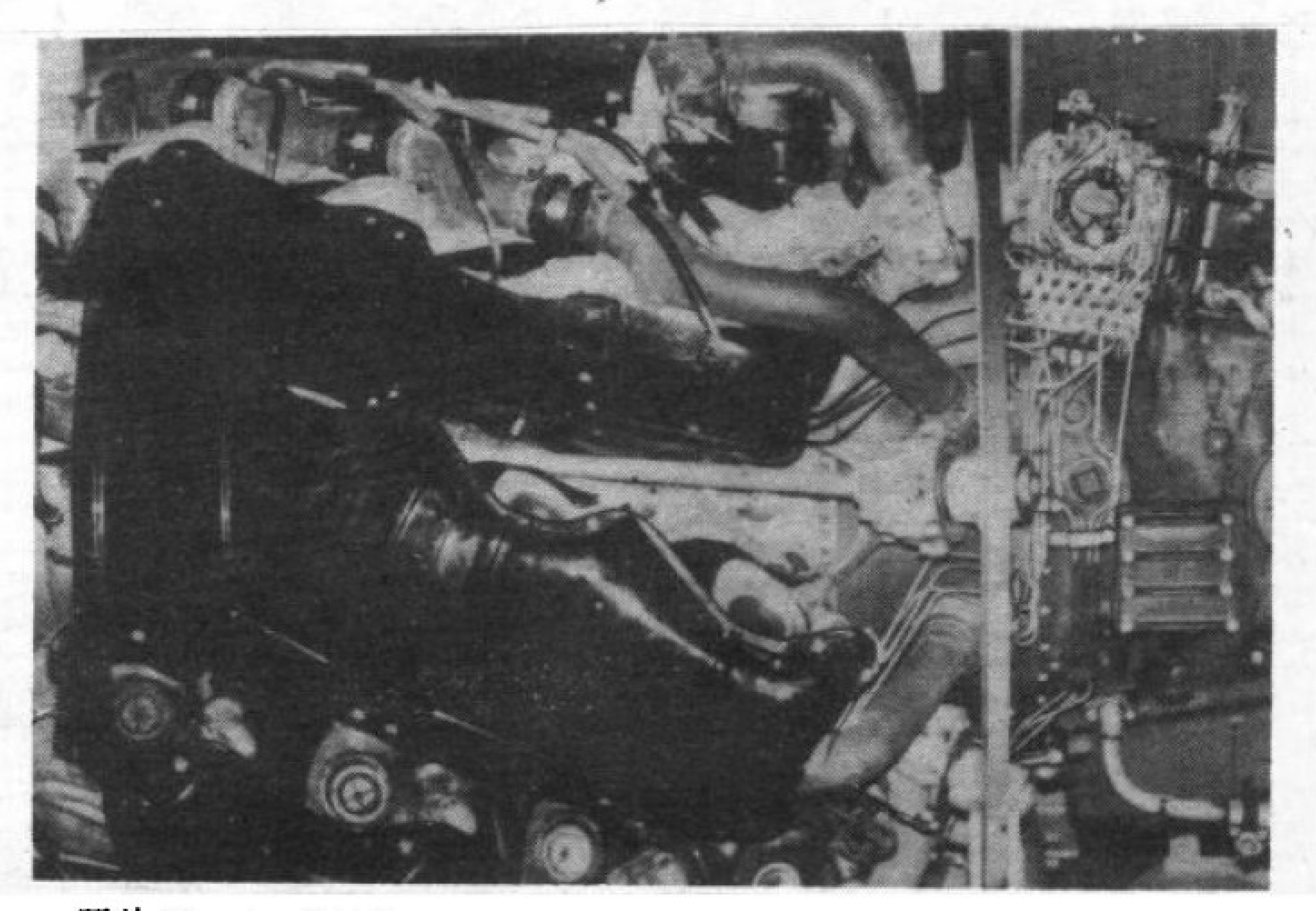
照片31 - 3　最终的星——普拉特-惠特尼 R4360 空冷 4 列星型发动机。28 缸、71.5L、3500hp。左侧为油冷却器，右侧为涡轮增压器（卡拉马祖航空博物馆）

似一件精美的艺术品。对此，还进行过多次庞大的导流实验（照片 31 - 4）。

既然空气导流如此费事，很自然地会产生“改为液冷的行不行呢?”的这种念头。实际上，在一次大战末期德国和美国就进行了液冷星型发动机的试制。

照片 31 - 5 为永卡斯·尤毛 222E 型 4 列 6 缸星型排列的 24 缸水冷发动机，设计指标为 3000hp。1941 年开始试制，1945 年开始批量生产，装用于永卡斯 JU288 战斗机上（照片 31 - 5、6）。

此外，德国又推出了开发另一个大型发动机的计划，以取代水冷 4 列星型 28 缸、4000hp 发动机。该机是由互为反转的后部的双重星型与前部的双重星型机组成，用连在同一轴上转动的所谓整流螺旋桨布置得极其巧妙，其驱动方法是通过齿轮把后部发动

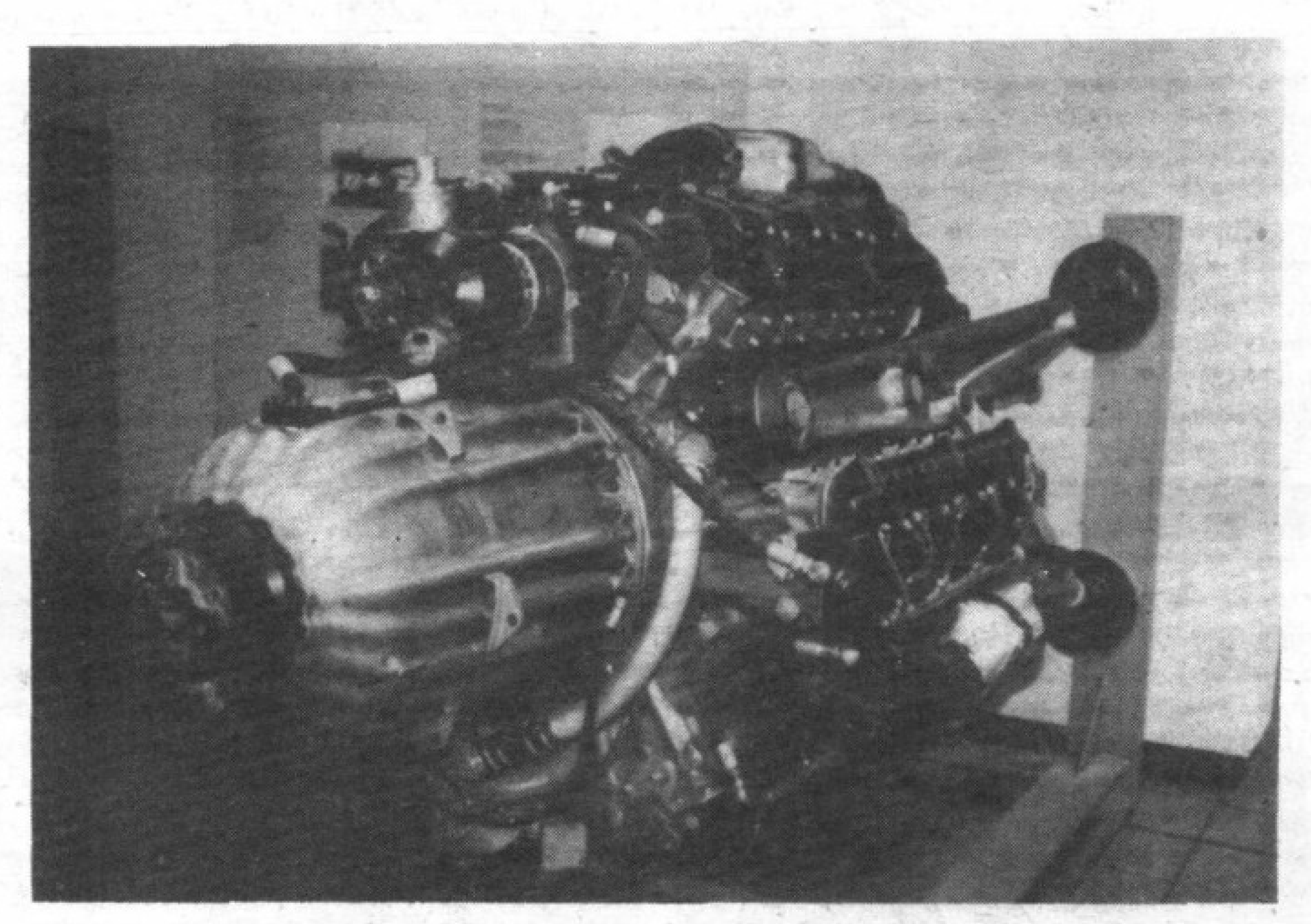


照片31－4　普拉特-惠特尼 R4360。星型空冷 4 列 28 缸、3500hp 发动机的导风板，复杂形状胜似艺术品（收藏于拉克兰德博物馆）

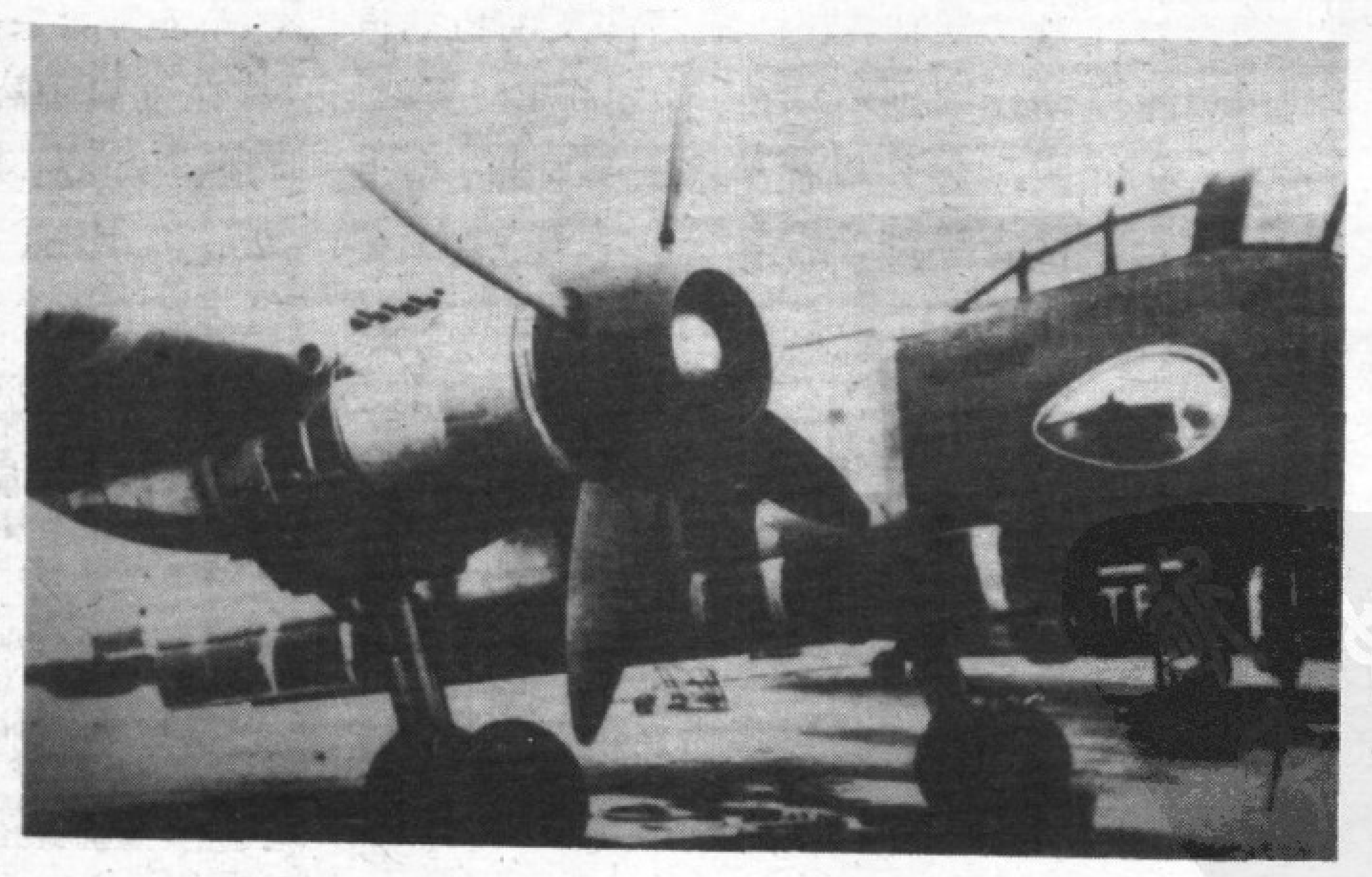
机的动力分配给 5 根轴，并借助前部发动机的间隙，引导到前方，再利用齿轮驱动延续到驱动桥。计划将 BMW803 型装在续航距离 16000km 的超大型轰炸机福凯洛夫 FW238 型上。但是，当该发动机还处于台架试验阶段，战争就已结束（照片 31－7）。照片 31－7 是美国的试制发动机，莱卡明格 17753—3 型，看上去象 9 缸×4 列，36 缸。36 缸、127L 是作长途飞行用的巨型发动机，2600 r/min时的输出功率为 5000hp，但该机型还未进行飞行实验便告终止。

法国和美国星型发动机的根

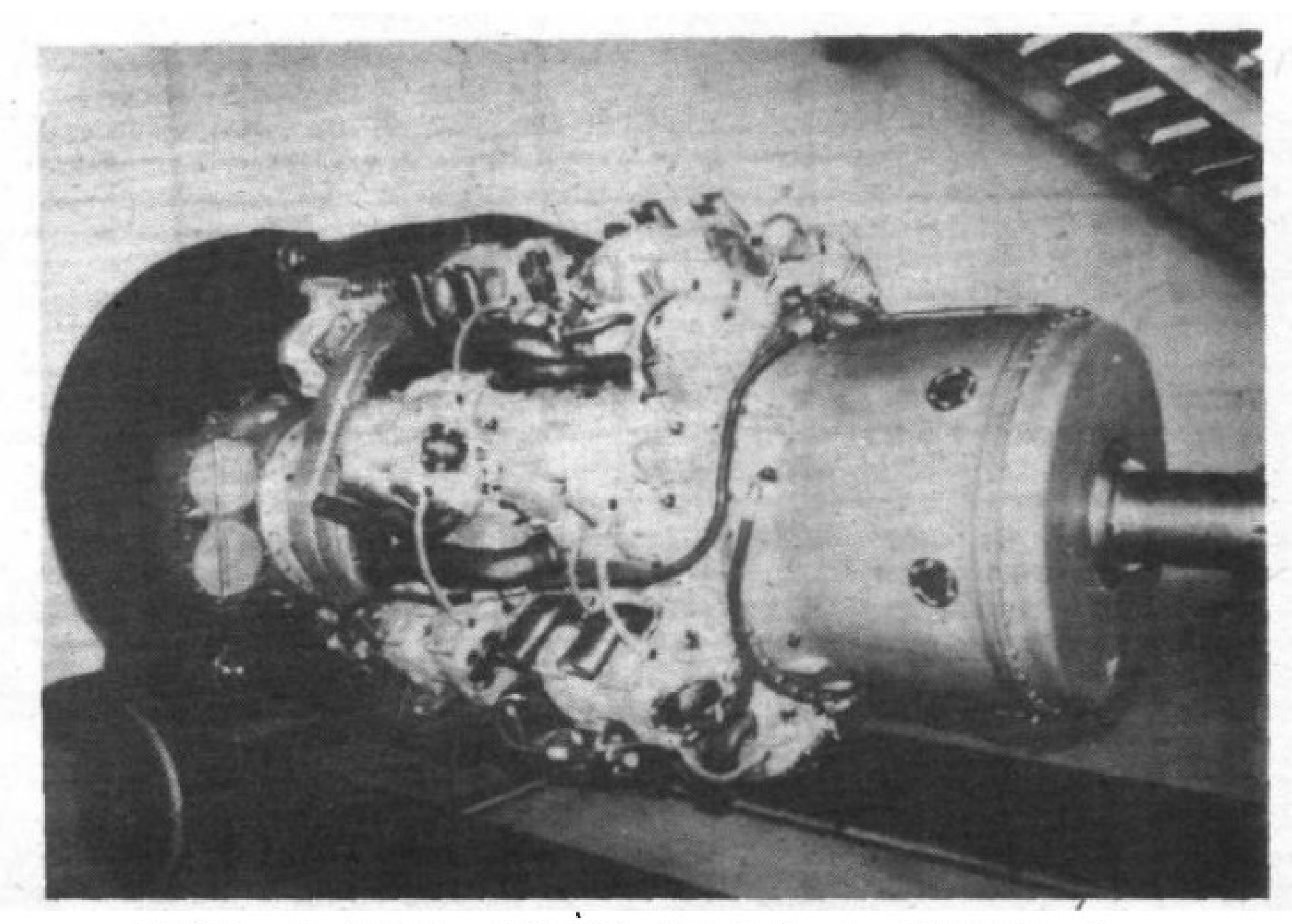
前面已有记述，1887 年哈格里夫的回转发动机就是星型排列发动机的雏型。在欧洲，固定式星型发动机与福雷斯特的模型一样，在 1888 年就已经存在了。照片 31－9 所示名为阿德诺米克发动机的蒸汽机便是，并与以同一原理制作的模型（照片 31－10）一



照片31－5　永卡斯·尤毛222型发动机。水冷星型24缸、2500hp/9400 r·min^{-1}、60°间隔，6缸×4，49.8L、2档2速增压、缸径140mm、行程135mm、重1370kg（道依茨博物馆）



照片31－6　装有永卡斯·尤毛222发动机的永卡斯JU288迎击战斗机



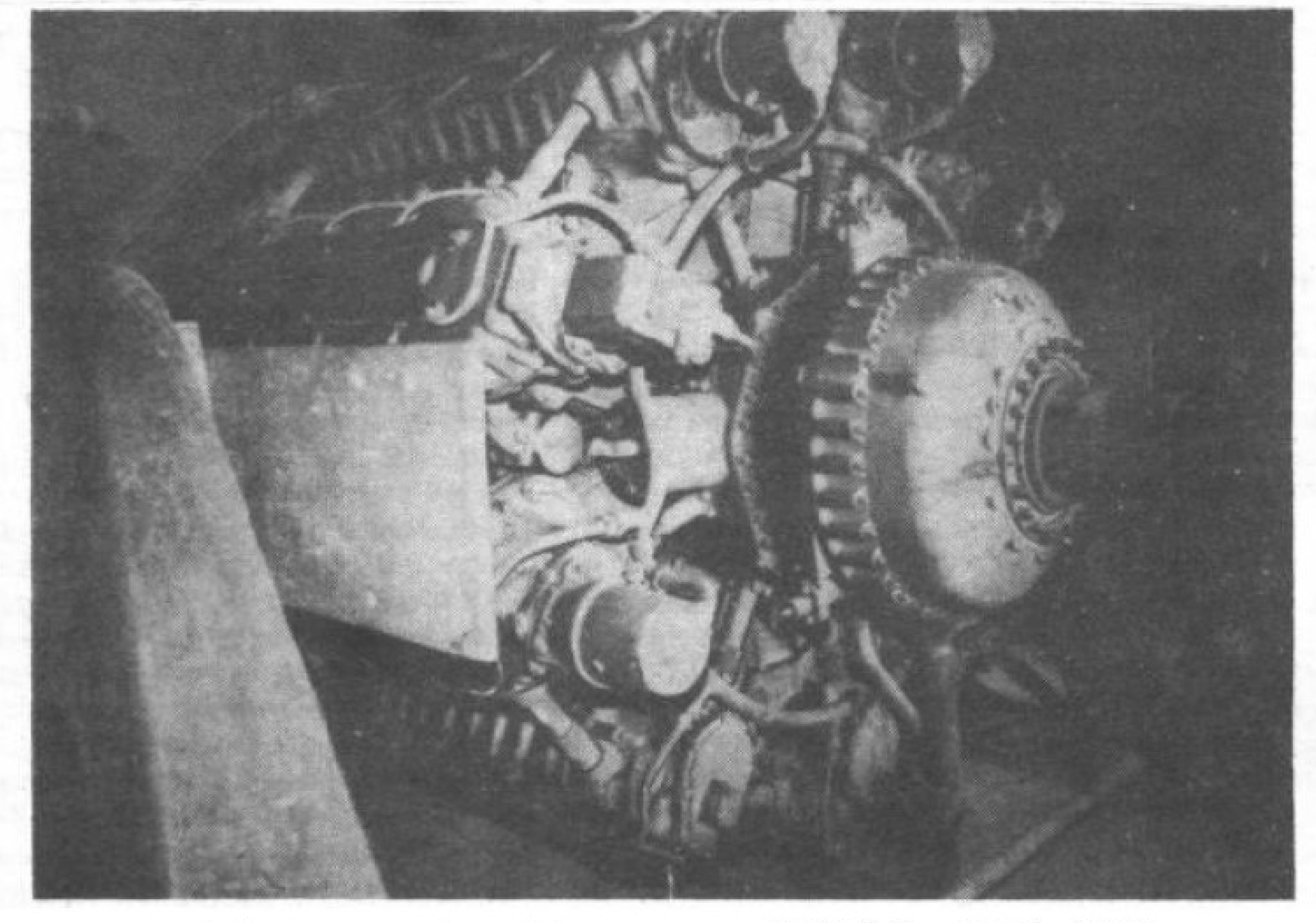
照片31－7　BMW803型发动机。液冷星型28缸（双重星型14缸×2）、4000hp/2950r・min^{-1}、缸径156mm、行程156mm、85.5L，重4130kg、直径1600mm（慕尼黑道依茨博物馆）

起保存在巴黎航空博物馆里。

其作者是法国陆军的工兵军官查尔斯・雷纳，也毕业于萨吉・卡诺（参考第9章）学习过的巴黎工业大学。根据原理图可设想，依次导入各相邻气缸里的蒸汽一边膨胀，一边推动活塞，并依次排出的，称之为阿德诺米克发动机，它是一种星型8缸的外燃发动机。

其实照片31－11的蒸汽泵的历史更为悠久。该泵在1875年由乔治・科利斯制作，并为美国东北端的罗德岛州普罗维登斯市所采用。根据照片想象，是用3根连杆组成一个单元，每个单元中间的气缸为水泵，两侧的气缸为蒸汽气缸。据说明：每隔几分钟转一次，是一种能供给稳定水流的辐射型发动机。

这种美国发动机的根是辐射状发动机，而法国星型发动机的



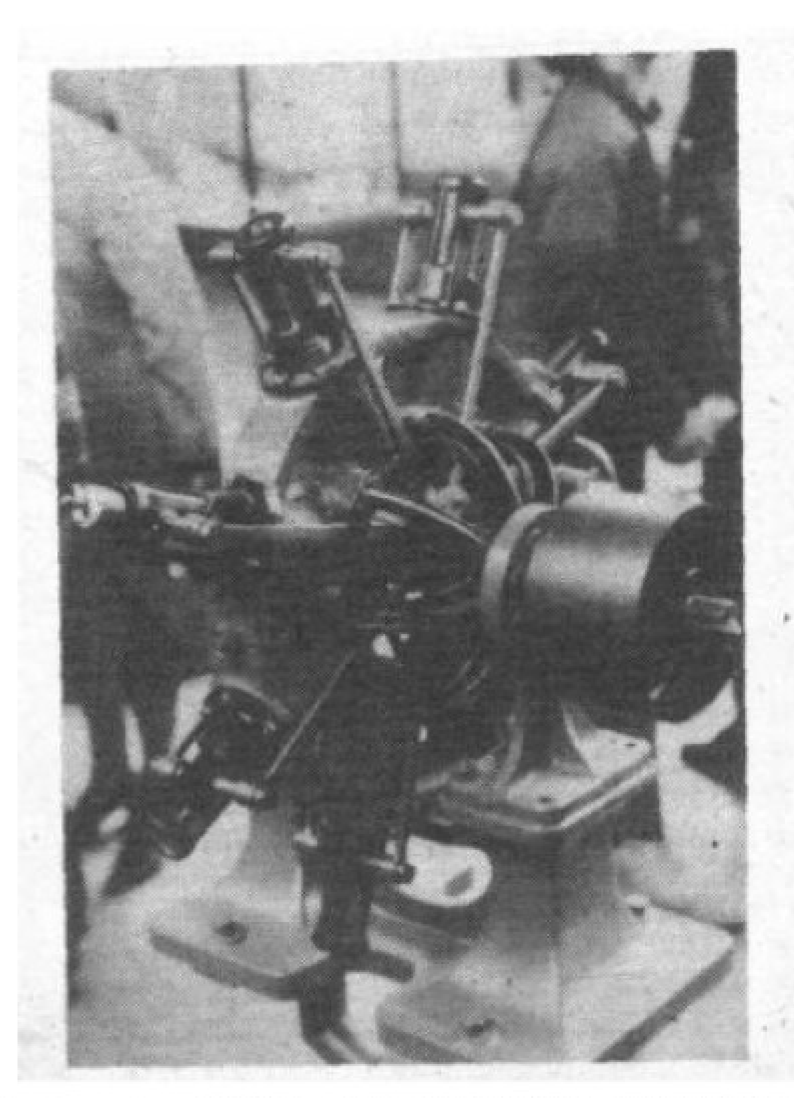
照片31－8　莱卡明格XR-7755-3型发动机，5000hp/2600 r·min^{-1}（斯密索尼安博物馆收藏）

根则是金平糖形，发动机原来就是星型。取的名字也带有法国人的浪漫色彩。

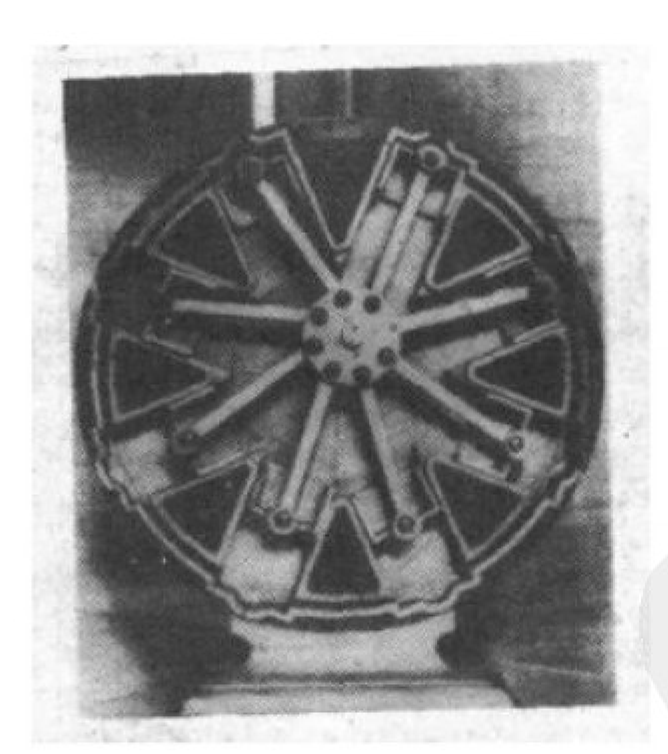
星型消失了吗？美、德新星的去向？

终于寻到星型发动机的根了。不过，星型的未来怎样呢？被视为星型的最终型，28缸、3500hp的发动机战后被用于几个超大型飞机上了，但不久便遭淘汰（照片31－12）。现在，只有飞翔在加拿大温哥华岛上空的游览飞机上，还可见默默无闻地工作着的星型发动机，似乎不久将会永远地消失。

然而，1980年美国航空宇宙研究所（NASA的刘易斯研究所）与特雷达因·康契年塔尔汽车公司共同开发、发表了星型3缸和6缸航空柴油机。作为小型飞机用的节能型发动机，星型发动机再度获得新生（图31－1）。

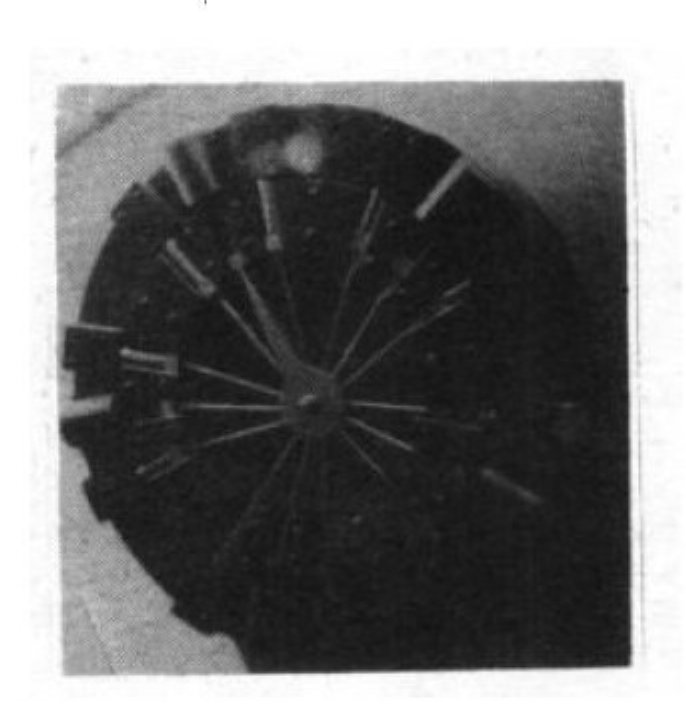


照片31－9　查尔斯·雷纳的阿德诺米克星型蒸汽发动机（1888年）（巴黎航空博物馆收藏）

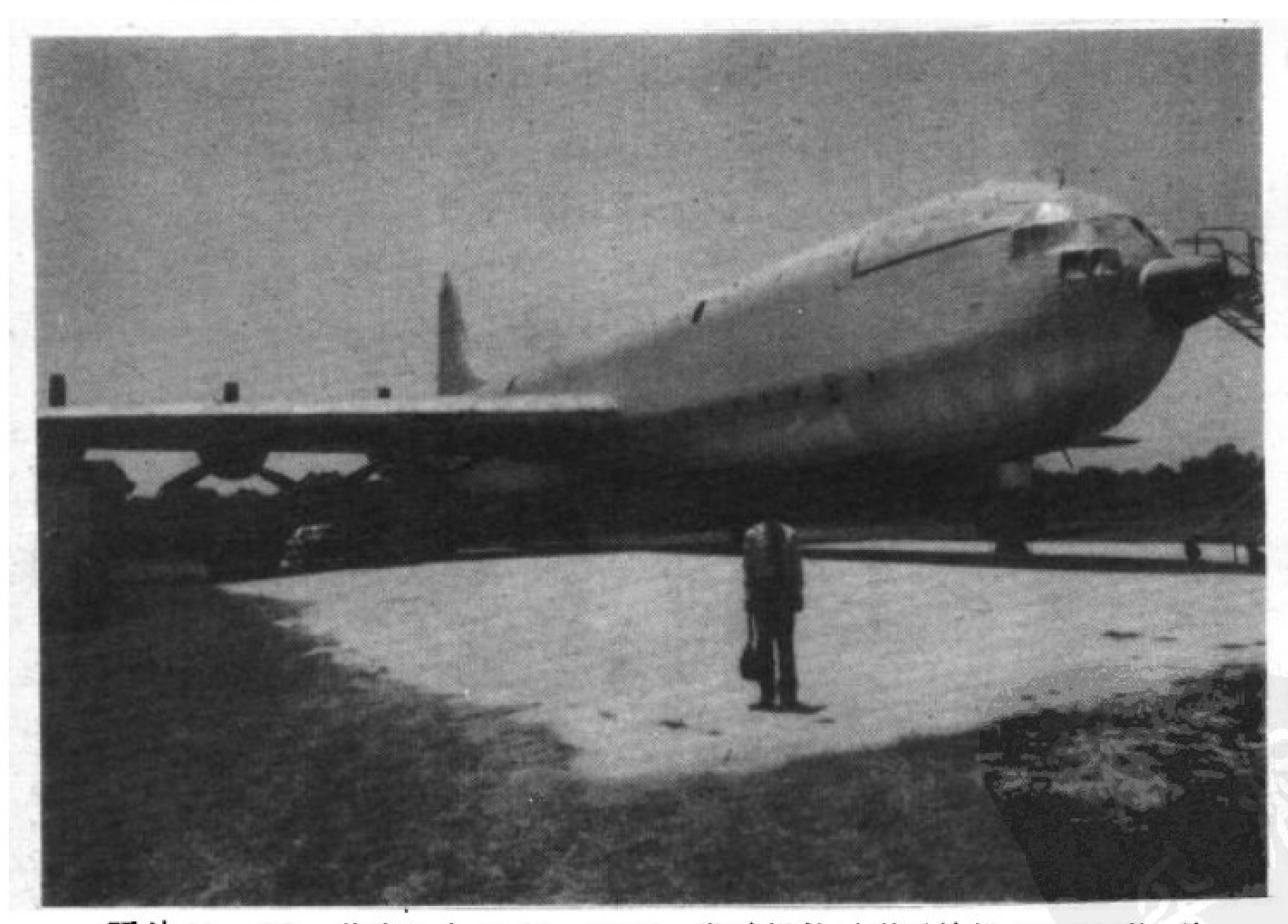


照片31－10　阿德诺米克发动机原理模型

但是，后来情况不详，正当人们为之担心之时，在德国诞生了新星，是由左切航空柴油机（Zoche aero diesel）公司的左切父



照片31－11　美国星型发动机的根是幅射型发动机，而不是星型。是起源于1875年科利斯的蒸汽泵，普罗维登斯市曾用来作水泵（斯密索尼安博物馆收藏）



照片31－12　装有6台28缸、3500hp发动机的巨型运输机XC-99型。从机翼下停放的汽车可以想象出这架飞机该有多么大（人物为笔者）

子（Michad and Georgt Zoche）试制的。他们把作为航空柴油机

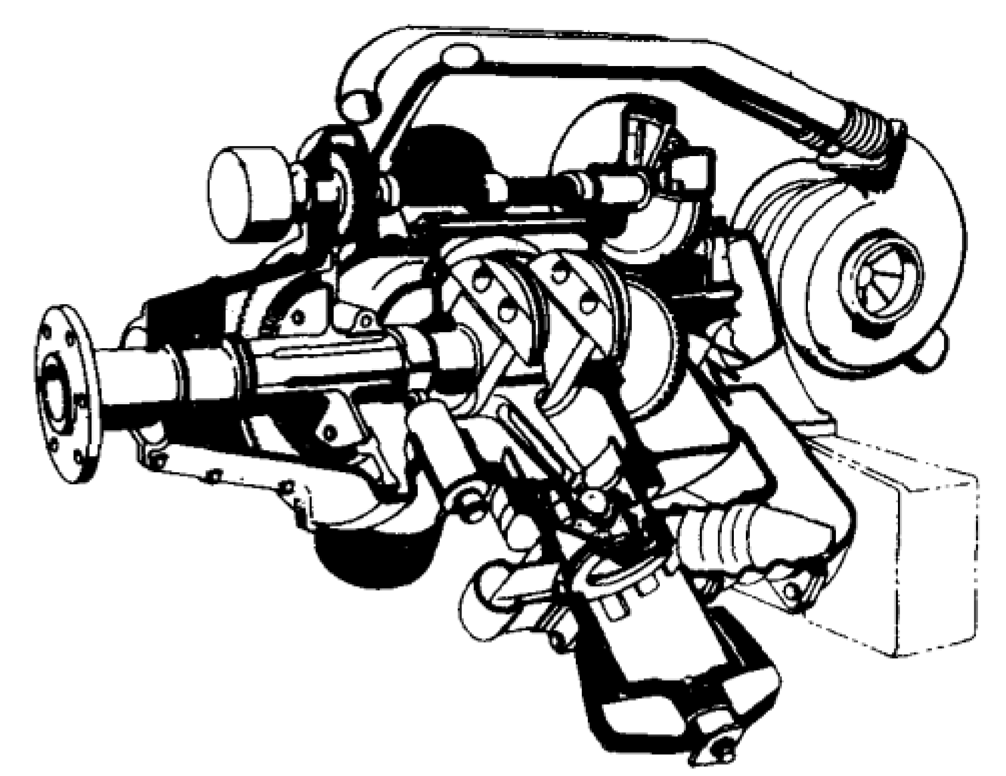


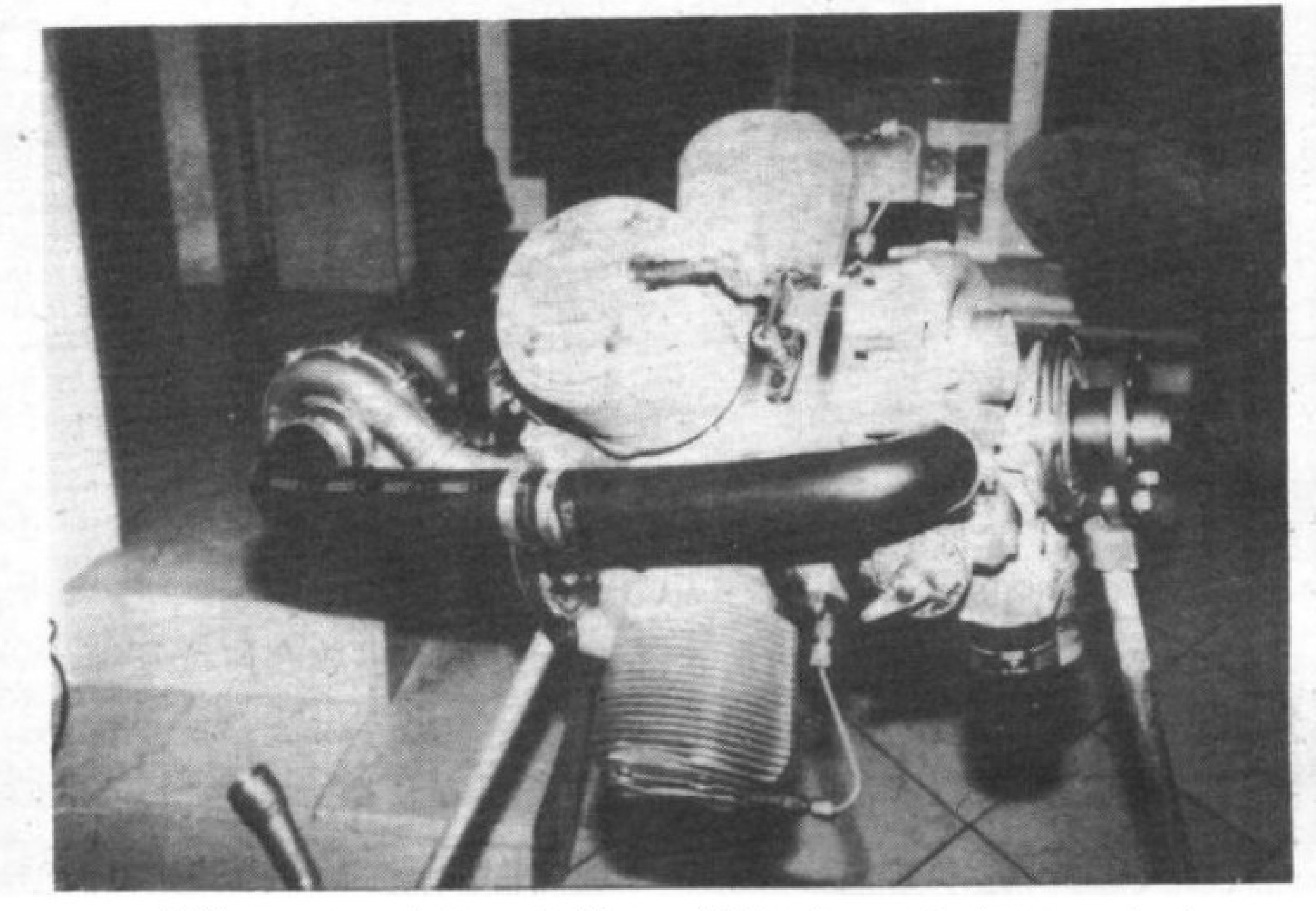
图31 - 1 特雷达因·康契年塔尔汽车公司的空冷星型柴油机的剖面图。400hp/3500r·min^{-1}

的独一无二的杰作——永卡斯·尤毛航空发动机放在研究室兼居室里，为了克服航空用柴油机的缺点，他们想方设法，使单位马力重量降至 0.5kg，有 2 行程星型 4 缸 150hp 和 2 行程星型复列 8 缸 300hp (参考附录 A31)。照片 31 - 13 所示，是该机正在做台架试验，期盼它成功。

星型发动机有两个内在的特点：一个是机械效率好，即机械摩擦损失比直列型小。其原因是曲轴短，通常用两个轴承支撑就够了。如上所述（参考附录 A30 - 1)，其惯性负荷为 0，（不过普拉特-惠特尼的 4 列星型使用 5 个轴承），一般小型轿车的 4 缸单列发动机使用 5 个轴承，而 6 缸机则用 7 个轴承。如前所述，为了节能需要积累点滴的革新成果。这时，例如 5 缸、2 轴承发动机就显得很有魅力。

另一个特点是其可靠性比单列发动机好（参考第 30 章)。主要原因在于单列发动机的曲轴长。长的曲轴刚性差，由此引发的各种振动（如扭振）亟待解决。即使在现在有关内部力矩的平衡仍是必须考虑的，因为它严重地影响着发动机的可靠性。而星型发动机却是内部基本平衡的工作平衡性好的结构。

所谓节能系指少吃少喝、健康长寿。而星型这一型式基本上吻合这一条件。特雷达因星型的再度崛起的原因也是在于这一点。



照片31－13　左切 20 发动机，2 行程 4 缸、150hp/2500r・min^{-1}（300hp 型为 8 缸）缸径 95mm、行程 94mm、2.7L（300hp 型为 5.4L）、重量 89kg、新型换气方式

它虽称不上是巨大的恒星，但不失为可爱的行星，东山再起。人们正静静地期待着这颗星汲取许多星型消失的教训后再度闪烁光芒。

附录 A31　左切航空柴油机

航空柴油机的缺点，除了重量大以外，还有在飞机升到高空时，随着空气稀薄，黑烟排放量增加（参考 33 章）。

左切是采用涡轮增压 2 行程发动机作为基本方式，利用涡轮增压解决了黑烟问题。因为如果空气密度变薄，以涡轮的压缩机的负荷下降，转速上升来弥补之。左切将涡轮增压器串联在机械驱动的扫气用的离心式压缩机（与涡轮增压器使用同一个压缩机）上。

他们还完全彻底地利用了2行程发动机的优点进行减重，取消了被认作星型发动机必不可少的主连杆（参考附录A30－2）。4行程中的进排气行程，连杆轴承使与爆发力相反一侧也接受惯性力，但在2行程中常常为爆发方向的负荷。利用这一特性，取消了轴承盖，巧妙地把4根连杆穿在一个曲柄销里。此外，还采用了铝制的气缸和曲轴箱，气缸内壁用镍这种复合剂涂敷。本来柴油机压缩比大，起动用的起动器和蓄电池都是大型的，他们开发了小型空气瓶和自由活塞型的空气压缩机(加压到10个大气压)，解决了问题，使空气流入扫气用泵入口使它起动。

但是，如果象通常一样将喷油阀插入气缸头部，那么整个发动机的直径增大，装在飞机上，飞机的前面面积就会增加。因此现在试制的发动机横卧式布置，今后如何改进此阀，是成功的一个关键。据说燃油喷射压力为1200个大气压（约120MPa)，因此如果能把它布置好，则可望获得良好的燃烧。

32. 帕卡德的荣光与悲剧（1）

酿成悲剧的背景，柴油机的发明与发展。即使引进现有技术，也应在深思熟虑后作出决断。

来自“生活”杂志的刺激

上一章已经介绍过了，突然复苏的星型发动机是柴油机。不过，我们在期盼它大放异彩之前，有必要了解一下与其设计者一起消失的昙花一现的星型柴油机——帕卡德航空发动机。帕卡德公司这个有许多名车、名发动机流传于世的制造商不久也没落并随即从世界上消失了。帕卡德航空发动机的毁灭是否有前兆呢？

二战结束后的1945年冬天，我偶然在信州的深山里渡过了一个晚上。那是一个大雪纷飞、寒冷刺骨的夜晚，我用大拍卖买来的军毯和军被把头蒙得严严实实简直透不过气来，好歹御寒。但是就在那个晚上，有生以来我第一次阅读了美国的“生活”杂志，刺激和兴奋使我久久不能入睡。

“生活”杂志中介绍的美国人的生活，大冬天只穿一件衬衫，大家坐在一起侃大山，饭桌之丰盛，都是令当时在饥饿线上挣扎的日本人难以想象的。在只知道烧劈柴的火炕和炉子的日本人眼里，那能坐几只锅，同时做饭做菜的电炉灶与刚刚放开灯火管制，电灯线是唯一能源的世界简直恍若隔世（我不禁想起，后来我买来了镍铬电热线和开关，自己作了一个电炉送给母亲，母亲不胜欣喜的情景）。并且，“生活”杂志有许多小汽车插图，其中帕卡德车分外妩媚（图 32 - 1）。

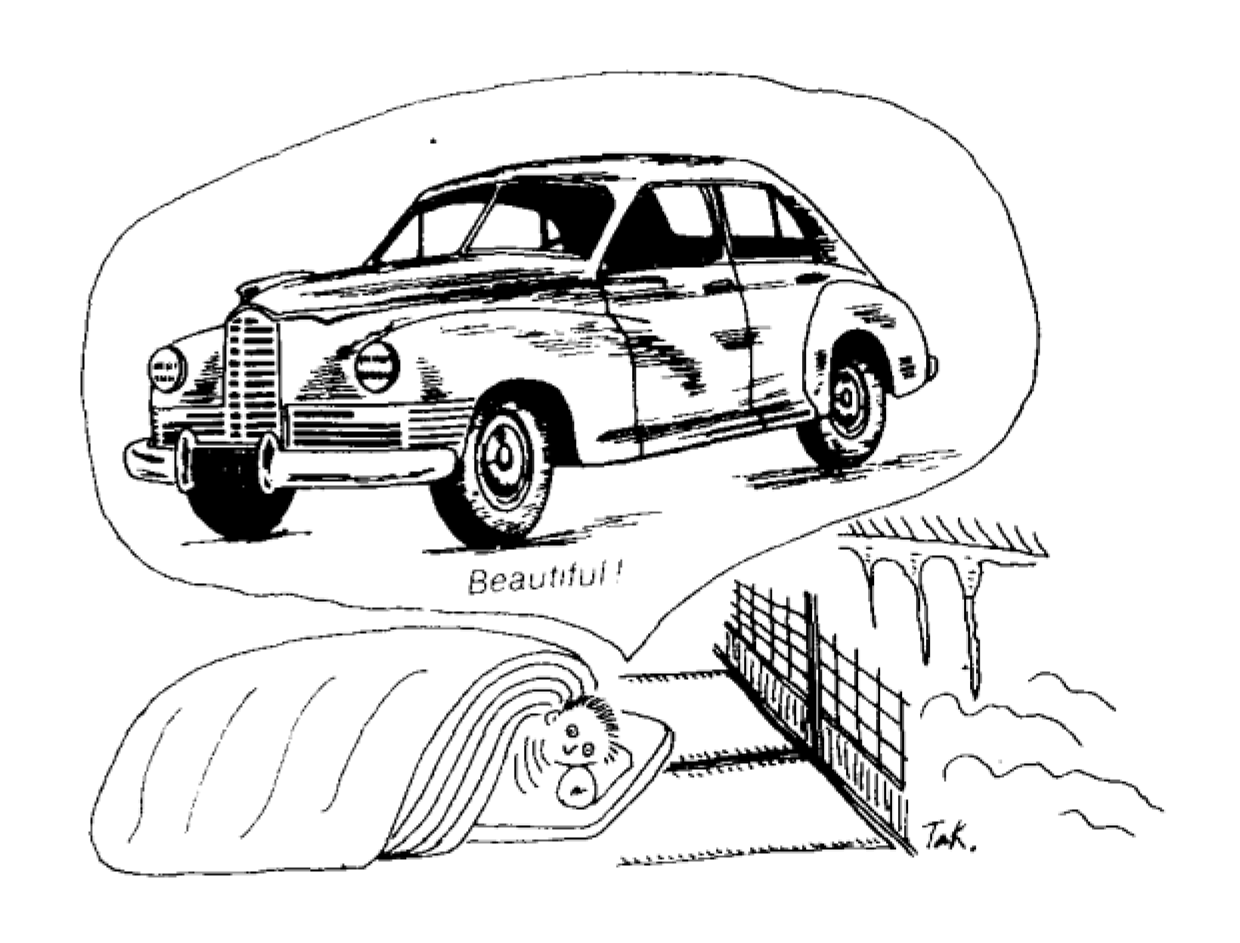


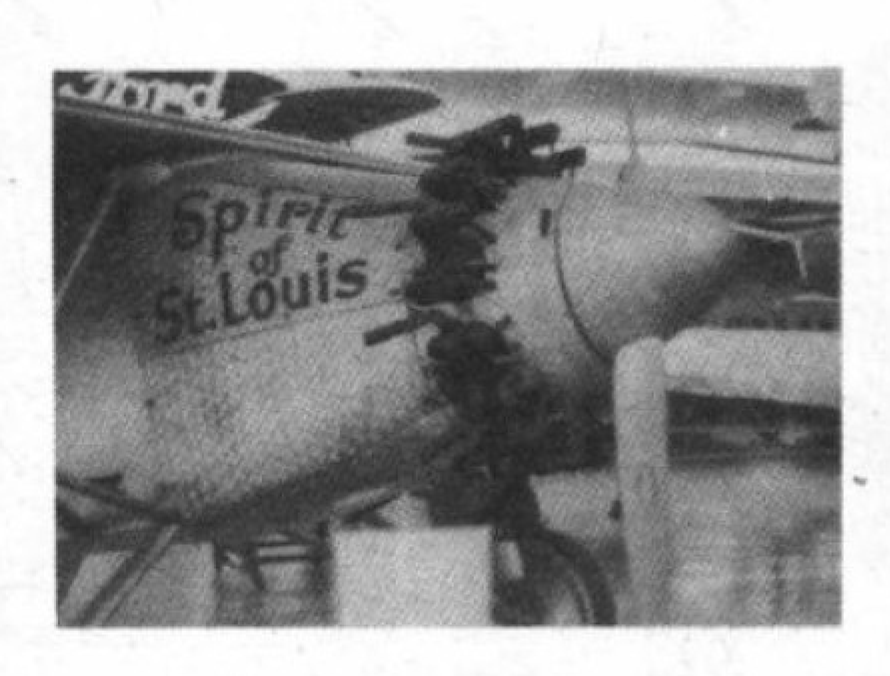
图32-1　1942年型的帕卡德·克里帕车，漂亮的造型深深地吸引了我，使我辗侧难眠。该车一直生产到中途岛海战爆发时

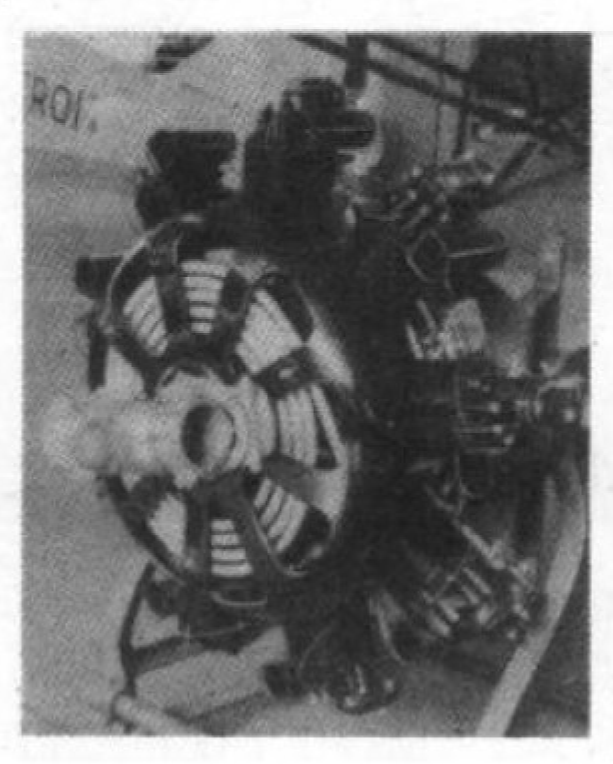
连续飞行创造世界纪录的壮举

1928年装有直列8缸发动机、席卷美国高级车市场的帕卡德公司宣布了生产航空发动机的计划。其直接动机如后述并不很明确，不知是受林德伯格（Charles A Lindbergh）飞越大西洋的刺激，还是总经理麦考利或是主任设计师伍尔森，头脑里突然闪过要制造比"莱特·旋风"（英国的战斗机）的汽油机还省油的发动机的念头。

林德伯格是在1927年5月21日飞越大西洋的。3个月后的8月里，帕卡德公司就与当时在德国汉诺威的无气喷射式柴油机的研究者——多尔纳签订了许可证合同。结果帕卡德柴油机以多尔纳泵喷嘴（后述）的喷油方式为主导开始了设计。

新发动机以与"莱特·旋风"发动机的同一功率和同一重量作为目标，仅在一年后的1928年9月19日就装在："斯廷森·代特劳达"号飞机上了。并且首次飞行成功（照片32-1、32-2）。1929年5月以6小时30分的成绩横越美国大陆。油费只有4.65



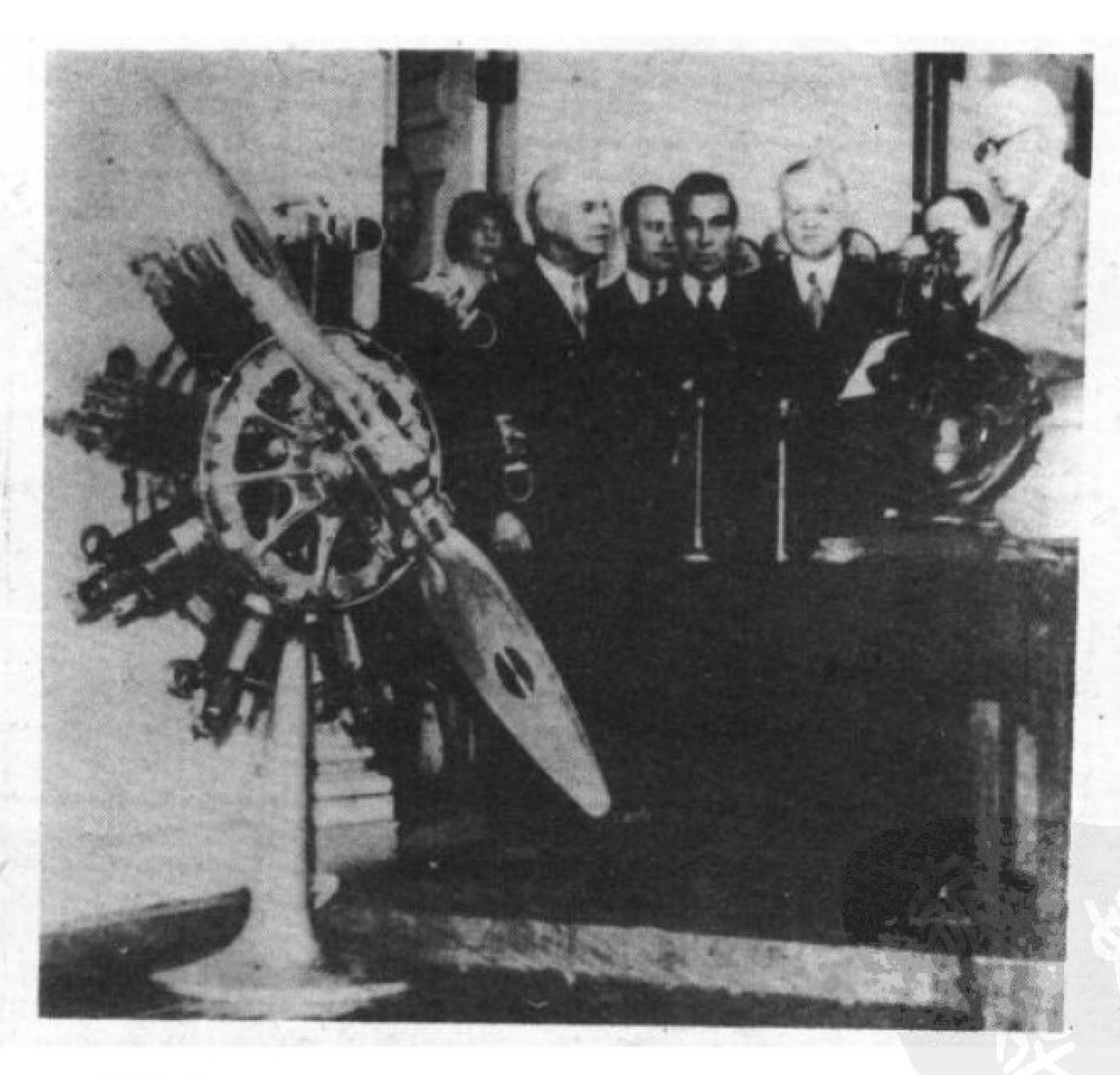


照片32－1　成功地飞越大西洋的圣路易斯·灵魂号的莱特·旋风发动机（左）及为与之抗衡而制作的帕卡德柴油机（右）。螺旋状管为机油冷却器（福特博物馆）



照片32－2　斯廷森·代特劳达号飞机。装有帕卡德柴油机，在横跨美国大陆的飞行中，油耗只有汽油机的1/5。（照片上装的是竞争对方莱特·旋风发动机）

美元，约为汽油机的 1/5 左右。第二年的 1930 年开始商业性生产。1931 年 5 月 23 日，装有帕卡德发动机的贝兰卡单翼机从佛罗里达州的杰克逊维尔起飞，向滞空记录挑战，创造了连续飞行 3 天，84 小时 33 分的世界纪录。1932 年，装有帕卡德柴油机的古德耶号飞艇建树了世界纪录。1932 年 3 月 31 日，帕卡德汽车公司作为美国航空界的功臣，荣获了费伯总统颁发的罗伯特·科利尔奖。颁奖仪式是在白宫举行的，有美国外贸部的一些官员光临，后来驾驶着洛基德·伊莱克特拉巡逻机在太平洋上空神秘地失踪了的女飞行员伊亚哈特等人也出席了。费伯总统赞扬说，该发动机的开发是前所未有的先驱者的事业（照片 32 - 3）。

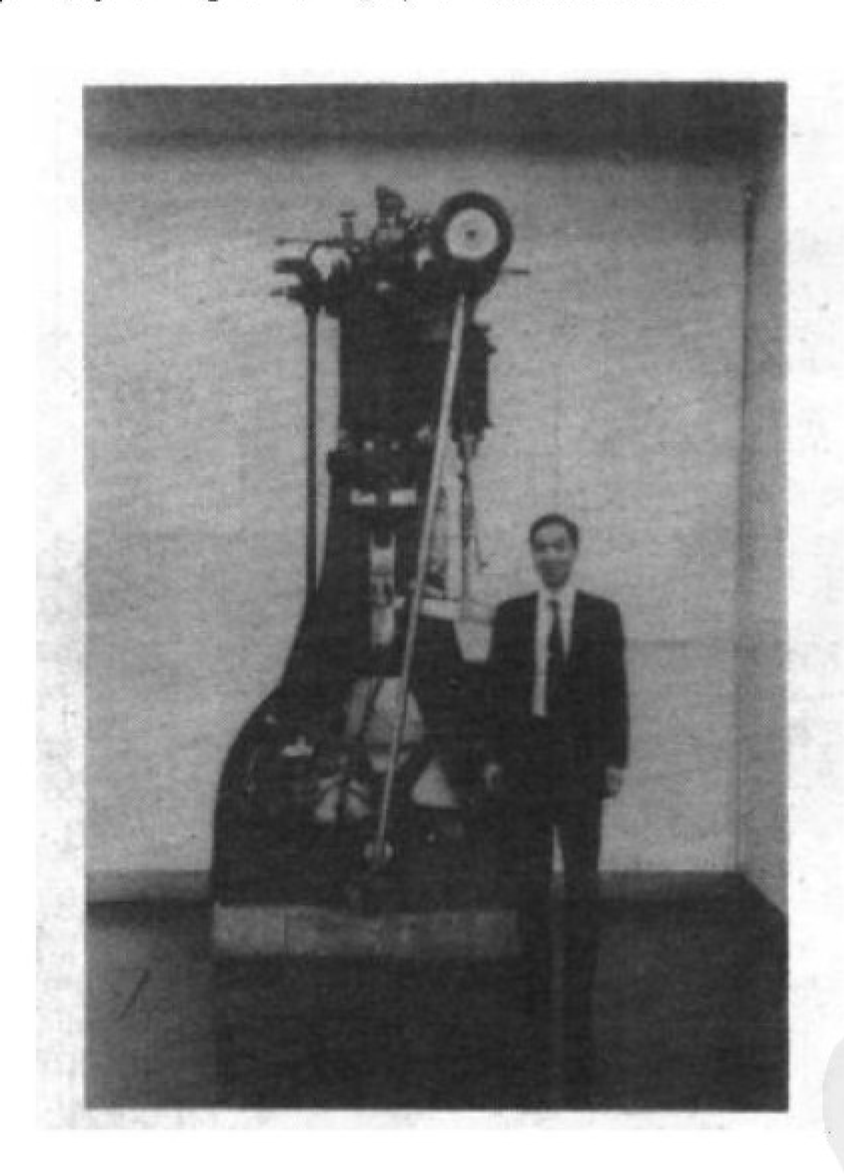


照片32 - 3 科利尔奖颁奖仪式。费伯总统称赞说是前所未有的创举。站在发动机后面的女士就是在南太平洋丧生的女飞行员伊亚哈特。从此拉开了悲剧的序幕

谁都认为这个技术课题成果辉煌。但是，在第二年的1923年，这项柴油机计划却丢下了耗资65万美元的新厂和刚雇用的600名职工而土崩瓦解了。在分析瓦解原因之前，我们有必要窥视一下当时的柴油机技术状况。

激烈的改进竞争

现在大型载货卡车和大客车几乎都使用柴油发动机。但是最早的柴油车是在林德伯格飞越大西洋3年前的1924年2月，本茨的50hp、5吨柴油车和6个月后曼公司（当时名为Maschinenfabrik Augsburg）的40hp、4吨车，先后问世。



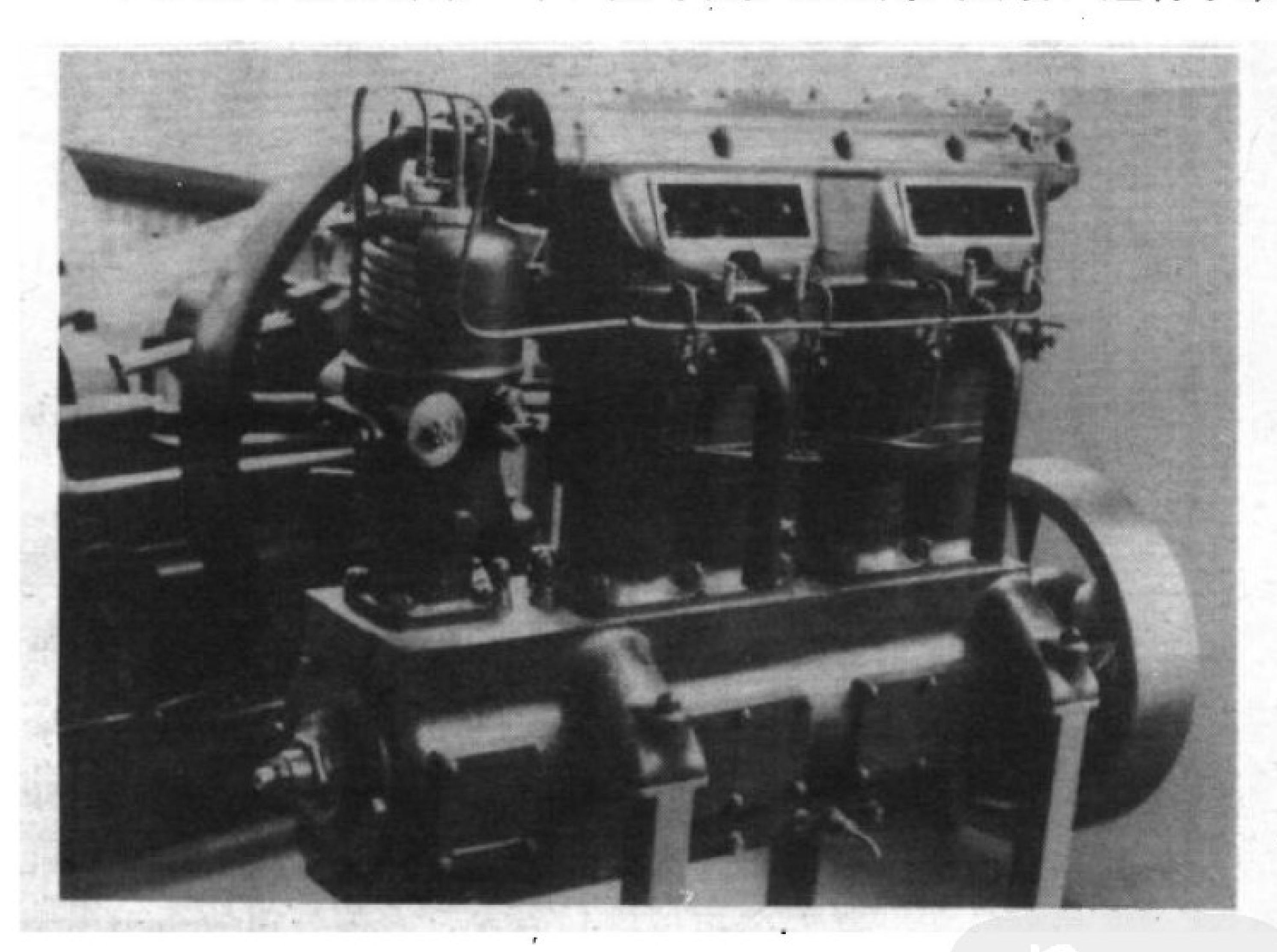
照片32-4　鲁道夫·迪塞尔研究用发动机(1893年)。机上装有喷油用的空压机和储气瓶。而柴油机终于在1897年问世。20hp/172r·min^{-1}。照片中的人物为著者（KHD博物馆）

鲁道夫·迪塞尔发明了柴油机，但直到1897年，历时27个年头，才运转成功。搁置的主要原因不外乎车用小型喷油装置未

及时研制出来。

众所周知，柴油机就是吸入空气，经活塞压缩成高温高压气体后，喷入轻油，自行点火、爆发、工作的结构。因而，为了使被喷射的燃油易于燃烧，应尽量微粒化。迪塞尔博士在高压的压缩空气里成功地喷入燃油，获得了细微的喷雾（照片 32 - 4）。说起来柴油机的成功多亏了迪塞尔设想。但是发动机因此却要另行配备空气压缩机，体积增大，无法在汽车上装用了。专门用于固定式，充其量也只能用在船舶上。

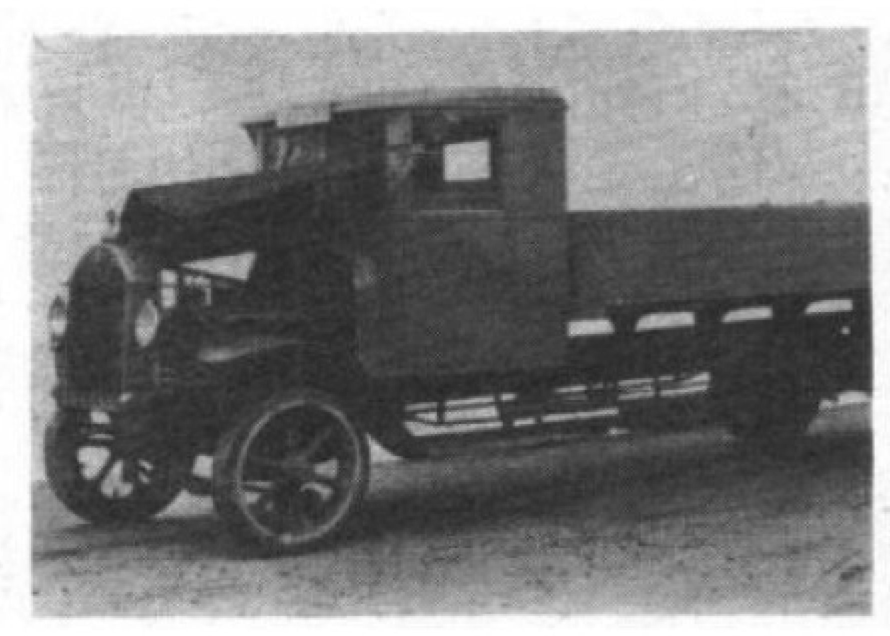
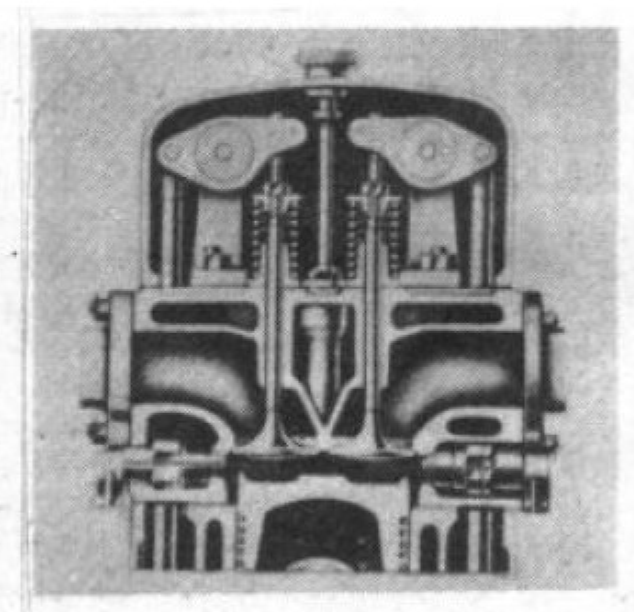
在迪塞尔成功的第二年，曼等很多企业闻风而动，进行了柴



照片32 - 5　索里尔公司试制的小型柴油机，1908 年作为车用发动机试制的，但因低速时燃油喷雾不佳而失败（道依茨博物馆）

油机与车辆匹配的尝试。结果都失败了。照片 32 - 5 就是一例，是 1908 年瑞士索里尔公司（当时叫做萨费尔公司）的试制发动机。如照片所示，空气压缩机巧妙地布置在发动机前面，虽曾寄以厚望，但因低速时的燃油未充分微粒化而搁浅。

车辆从低速到高速，车速经常变化。作为车用柴油机，要想在低速时获得能够充分燃烧的充足的细小微粒，需要不借助压缩空气，高压的所谓无气喷射机构的出现。而本茨公司和曼公司却

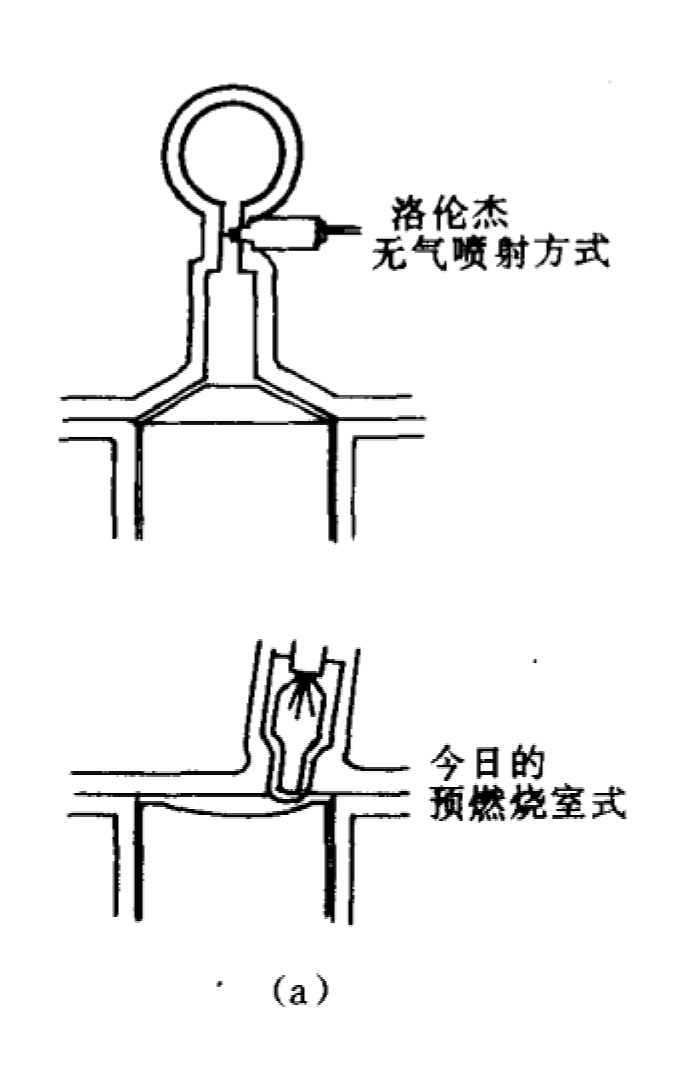
照片32－6　最早的柴油载货卡车(1924年)。曼公司的4吨车及其燃烧室。本茨公司比曼公司早8个月研制出装有带预燃烧室式发动机的卡车(曼博物馆)

不约而同地在同一年研制出这种无气喷射机构（照片 32－6）（无气喷射方式本身最早是由英国的维克斯公司开发的）。

本茨与曼的设想

本茨公司的设想要追溯到1908年的沃格尔和洛伦杰二位。他们尝试将发动机本身的活塞运动作为空气压缩机来使用，把压缩空气存储在气缸顶部的储气筒里，在活塞下降的同时，向连接储气筒和燃烧室的通道喷油，以产生微粒化效果。本茨公司一边开发这种方式，一边又开发了预燃烧室方式。本茨公司的轿车用柴油机至今仍沿用预燃烧室。图 32－2 示出了洛伦杰的设想，并把今天的预燃烧室方式与其它燃烧方式作了比较。

而曼公司则使用两个喷油阀，为了使油粒在燃烧室里尽量均匀地分布，采取使吸入的空气发生涡旋运动的方式。涡旋运动如图 32－3 所示，是靠在进气阀顶部加导向来实现的。这种产生涡流的设想是在久远的 1875 年，由矶本提出来的。



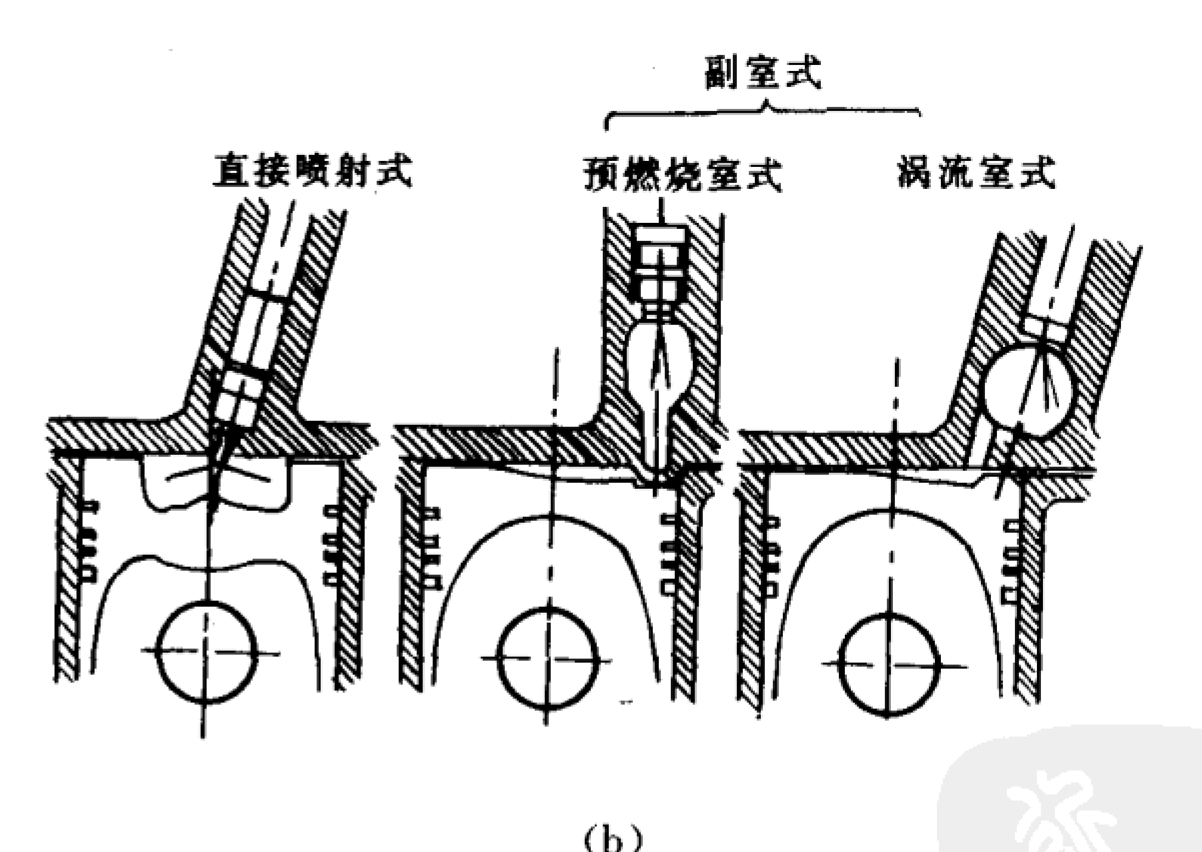
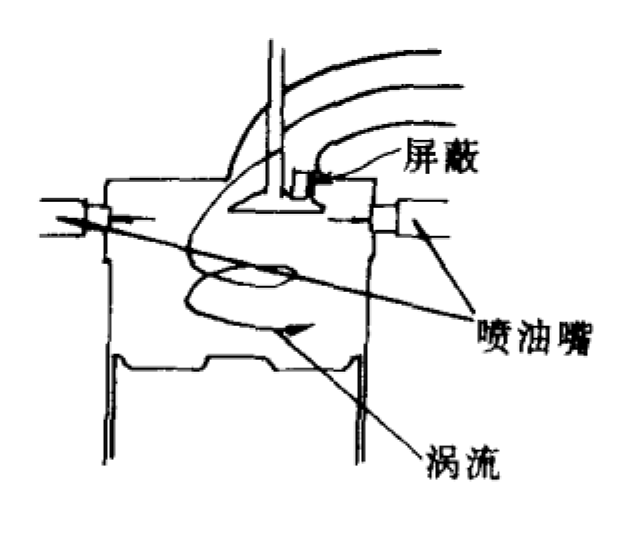


图32－2　(a) 1908年洛伦杰的无气喷油式构想及预燃烧室式燃烧室，本茨最早的车用柴油机就是采用这种预燃烧室式；(b) 柴油机的燃烧室型式

帕卡德公司采用的多尔纳方式的构思是与曼公司一致的。一个喷油阀，靠进气道形状形成进气涡流，与今天的直喷式是一样的。这不能不使人们对多尔纳的预见性刮目相看。帕卡德公司的



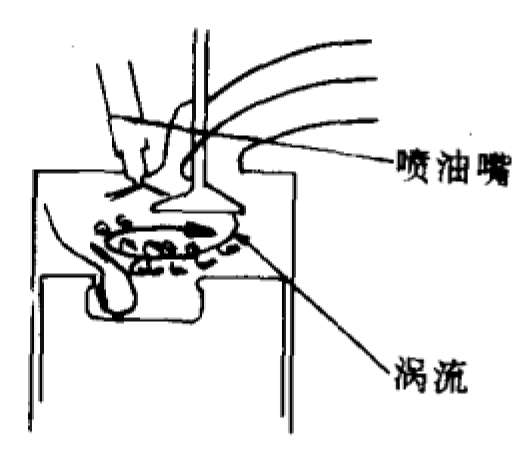


图32－3　曼公司1924年早期的汽车发动机的燃烧室（上）和今天的直接喷射式燃烧室（下）

技术班子能看到这一点，就说明他们有相当的情报收集力、判断力和决断能力。

但是，现在看来在技术判断方面却不尽人意，以致于酿成大错。直喷式在当时技术上尚不成熟。曼公司最早的载货卡车采用过这种方式，但不久便改为气室式（一种副室式）的了（参考附录A33－1）。

柴油机的缺点

帕卡德公司在引进这种喷油系技术以后，伍尔森为了减轻重量，竭尽聪明才智，令人佩服（参考下一章）。

通常柴油机的单位马力重量约为汽油机的1.5～3倍。因为柴油机是利用压缩空气进行自燃点火，所以压缩比要高，以形成高压、高温空气，其爆发压力势必也高。爆发压力可达汽油机的1.5倍左右（不增压的情况下）。为了承受高温高压，就要求结实的结构。

而同一发动机容积（排量）下，其输出功率约为汽油机的1/3。为什么爆发压力高，输出功率却不行呢？那是因为柴油机是把燃油直接喷射到空气中，故不能投入与发动机排量中的空气量相适应的油量。即，因为燃烧是氧化反应，所以相对于一定的油量，即碳化氢量，正好使之氧化的氧气量，即空气量是一定的。该燃油与空气量之比，叫做理论空燃比。汽油机因为是向化油器或混合气管中喷油，所以进入燃烧室里的空气和燃油，是已按接近理论空燃比均匀混合了的可燃混合气。

柴油机与之相反，进入燃烧室里的只有空气，喷入的燃油还没等喷完就燃烧起来了，加上燃油本身的汽化性差，故来不及与空气充分混合。为此，如果燃油的喷射量过大，则一部分燃油颗粒因氧气不足而没有完全燃烧，变成碳。柴油机有时冒出的黑烟就是这种碳烟。因此，柴油机在燃烧时，对空气的利用率比汽油机差，因此输出功率相应地低下。假设汽油机的空气利用率为100%，那么柴油机仅有 70～80%。

即使都是柴油机，由于燃烧室型式不同，空气利用率也不一样。带预燃室等副室方式的，其空气利用率为 80%左右；大型载货卡车所广泛采用的直喷式，其空气利用率却为 70%左右。换句话来说，即使在今天，从燃烧本身来看，直喷式仍未成熟。

柴油机输出功率小的另一个原因是，压缩比大，运转发动机本身所需的摩擦损失的马力比汽油机大。这种马力损失与转速成正比，所以即使想提高功率而增加转速，其摩擦损失马力也随之增加，拟提高的输出功率部分又被吃掉了。故不能期望通过增加转速来提高功率。转速最高的汽油机每分钟运转 10 000 次以上（例如赛车发动机等），而柴油机最高转速却只有 5000r/min。

柴油机的优点

柴油机与汽油机相比，有很多方便之处，油耗小则是其最大的优点。最大功率点、单位马力小时的油耗，在现在的优秀发动

机当中，柴油机约为汽油机的 70%。特别象汽车，通常在部分负荷（油门踏板未踩到底的状态）工况下行驶，其油耗约为汽油机的 60%。

为什么柴油机的油耗会那么低呢？这是因为为了自行点火而采用高压缩比的缘故。压缩比越高，热效率越好（参照附录 A4）。而汽油机由于敲缸而不能选取那么高的压缩比。另一个原因是，柴油机的燃料是轻油，比重比汽油约重 10%，即同是一升的话，柴油比汽油重 10%。如果按一般汽车上使用每升油耗的计量方法的话，表观上柴油机比汽油机的油耗还要少 10%（燃油不是按克卖，而是按升卖）。

另外，所谓的油耗小，系指不让燃油的热能向外散发，有效利用率大。因此，向冷却水的散热少，可以把散热器设计得小些；如果是空冷发动机的话，冷却风扇也可以设计得小一点，缩小的部分大约为 35%。

柴油机的另一个特点是，由于高压缩比的缘故，发动机本身结实而又沉重，故经久耐用。因为柴油机的寿命长、油耗低，所以今天作为商用车用柴油机，自豪地迎来了鼎盛时期。

如果把柴油机装在飞机上，简单地计算了一下，连续飞行距离也会延长 30%以上，或者假设燃油价格一样，运费也可以便宜 30%以上。但是，必须采取某些措施来克服上述的诸多缺点。那么，伍尔森采用什么手段向这些问题，特别是向作为飞机用柴油机来讲最重要的轻量化问题挑战的呢?并且为什么又失败了呢?我们将在下一章里介绍。

33. 帕卡德的荣光与悲剧（2）

因排气臭味而丧命的发动机。忘记了根本的优等生。不过，许多构想值得肯定。

追赶欧洲的美国

首先介绍一下帕卡德公司瞄准的目标——莱特·旋风航空发动机。

拥有莱特兄弟以及曼利、巴尔查等先驱的技术的美国，在第一次世界大战结束时，却意外地落在欧洲技术之后了。美国人把战争中遗留下来的几台航空发动机弄到了美国，其中有1台是3缸行星发动机。就是借力于这台发动机，莱特·旋风航空发动机才得以诞生。

一位名叫查尔斯·劳伦斯的人，他曾经制造28hp、水平对置的发动机（两个活塞不是相对运动，而是同向运动的劣质品），费了九牛二虎之力才廉价出手。他先模仿这台欧洲制发动机（据说是安扎尼），制作了3缸星型机。接着，在1921年又使用同样的气缸，制作了9缸、180hp的机型，引起了美国海军的关注。海军动力部长威尔逊提出要搞出200hp级的星型发动机，并且断言只要提高劳伦斯发动机的功率就行。但是，劳伦斯缺乏资金。

另一方面，当时正在进行伊斯巴诺苏伊扎发动机（后述）许可证生产的莱特公司（由莱特兄弟创办的，公司几度易名：莱特、莱特迭顿、莱特马丁。但在二战后脱离了飞机制造业，参考第12章），还缺乏空冷方面的经验。于是，威尔逊向莱特公司的总经理兰契莱建议与劳伦斯合作，就这样两家联谊了。

莱特公司集中了一些有才干的工程技术人员，如威尔哥斯、米

德等人，准备开发新型发动机。来自英国法恩博洛市的赫伦也参加了开发工作，他负责气缸设计。他把缸盖上阀门之间的间隙，设计得比丘辟特的还大，使之有充分的冷却能力，保证了发动机的可靠性（参见附录A28）。

这正是林德伯格的关注之处，合理的设计，保证了林德伯格首次飞越大西洋成功。当然，林德伯格本人也采取相应措施，如改变发动机悬臂供油部分的设计。即，给裸露出来的悬臂加了个罩，还安装了用弹簧从润滑脂容器里不断供润滑油的机构。蛮干是不会成功的。从这件事就可以看出，林德伯格观察入微、计划周密。

帕卡德向轻量化柴油机挑战

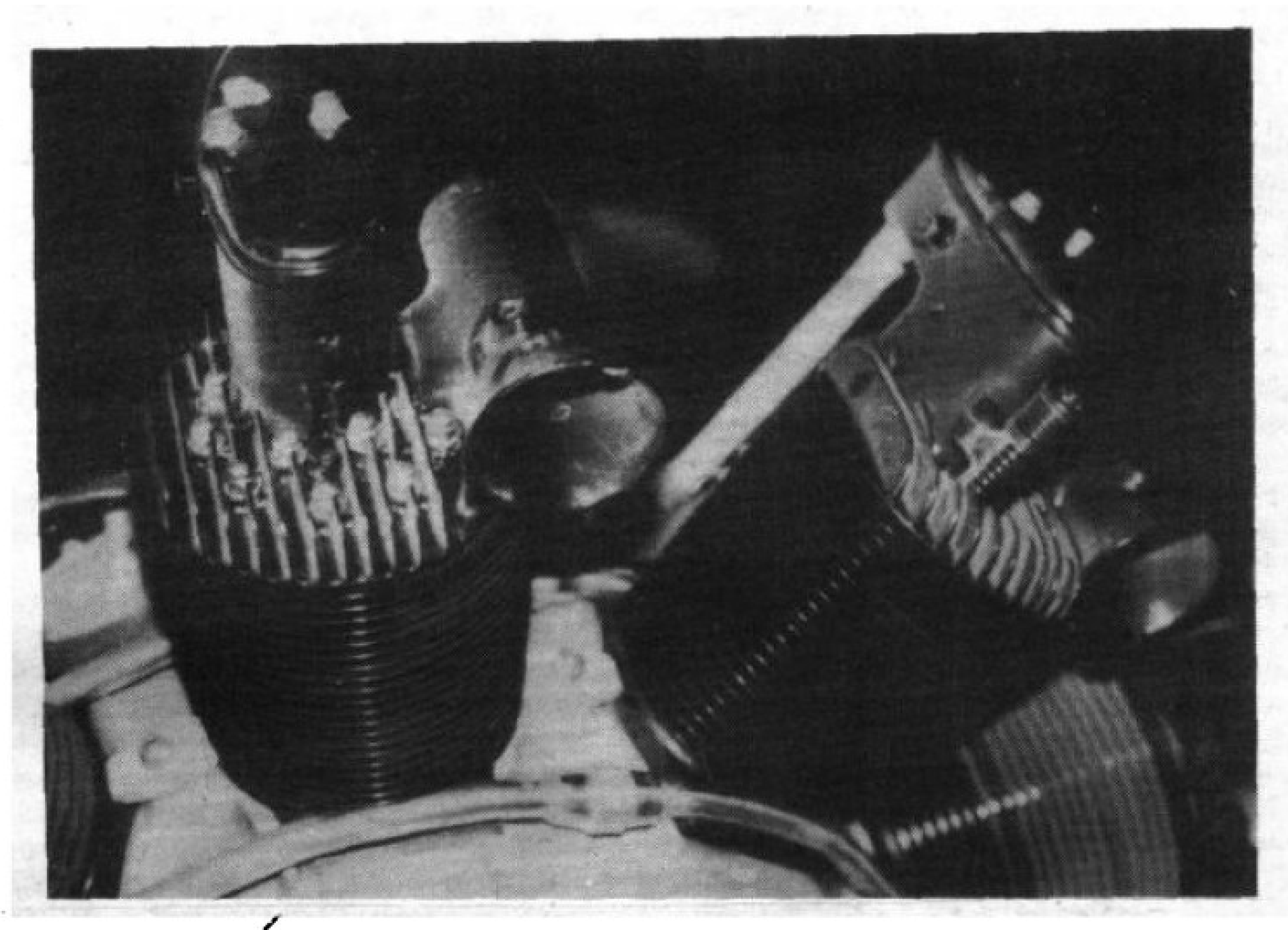
林德伯格的成功使莱特发动机名声大振。海军马上决定战斗机采用莱特发动机，还考虑把巡逻艇上的帕卡德水冷发动机也换成空冷的。

帕卡德公司显然有些焦燥了。于是乎，为了拉开与名发动机旋风之间的决定性差距，该公司上市了柴油机。

帕卡德公司的主任设计师伍尔森为了减重，采用了镁制曲轴箱，因嫌固定曲轴箱与气缸用螺钉太重，换了两根环箍（hoop）（照片33-1）。

如前所述，柴油机的爆发负荷约是汽油机的1.5倍，曲轴当然也重。为了避免过重，帕卡德公司在曲轴的平衡块当中，装有由弹簧支撑的另一块重块，缓和冲击负荷，使其曲轴与汽油机曲轴一样细。同样，为了缓和传动轴的冲击力，减轻重量，传动轴壳里装有带橡胶缓冲垫的减震器（照片33-2）。

再者，进排气阀共用一个，也节约了一个气阀的重量。结果，该柴油机的重量与莱特·旋风汽油机相等，节油30%以上的航空柴油机诞生了。

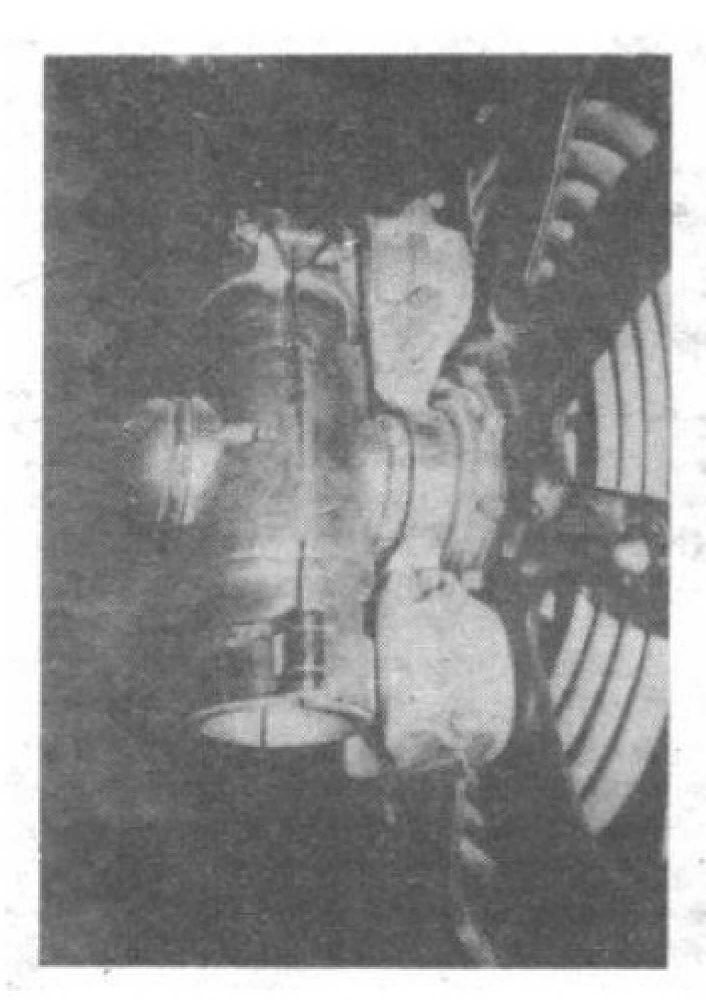


照片33-1　减重方面的攻关。使用两根环箍将气缸固定在曲轴箱上，以便减轻螺钉的重量。照片下部的管状物为环箍，中间为拉线螺丝，进排气阀共用一个。因而，气缸上面的筒就是进排气兼用的气道，其目的在于减轻重量（斯密索尼安博物馆）

让太太讨厌了，可就糟了

如前所述，试飞大获成功，连连创记录，又荣获总统嘉奖的这台发动机，却潜伏着意想不到的危机。那就是臭味。直接喷射式发动机即使在今天，这种气味也是难以对付的，特别在冬天冷起动时，如何减少这种臭味是重要的技术课题。

据说装有帕卡德发动机的飞机拖曳着白烟飞行。降落时，乘客的衣服和行李上都染上了一股臭味，简直无法在公众面前露面。另外，振动也大，首先遭到乘客的厌恶。原因是解决柴油机最基本的黑烟问题的对策不当。即使在今天，柴油机的马力（扭矩）也受黑烟烟度所制约，凭当时的柴油机技术能控制到什么程度，虽然不清楚，不过不妨推测一下，尤其在高空，空气稀薄时，排烟



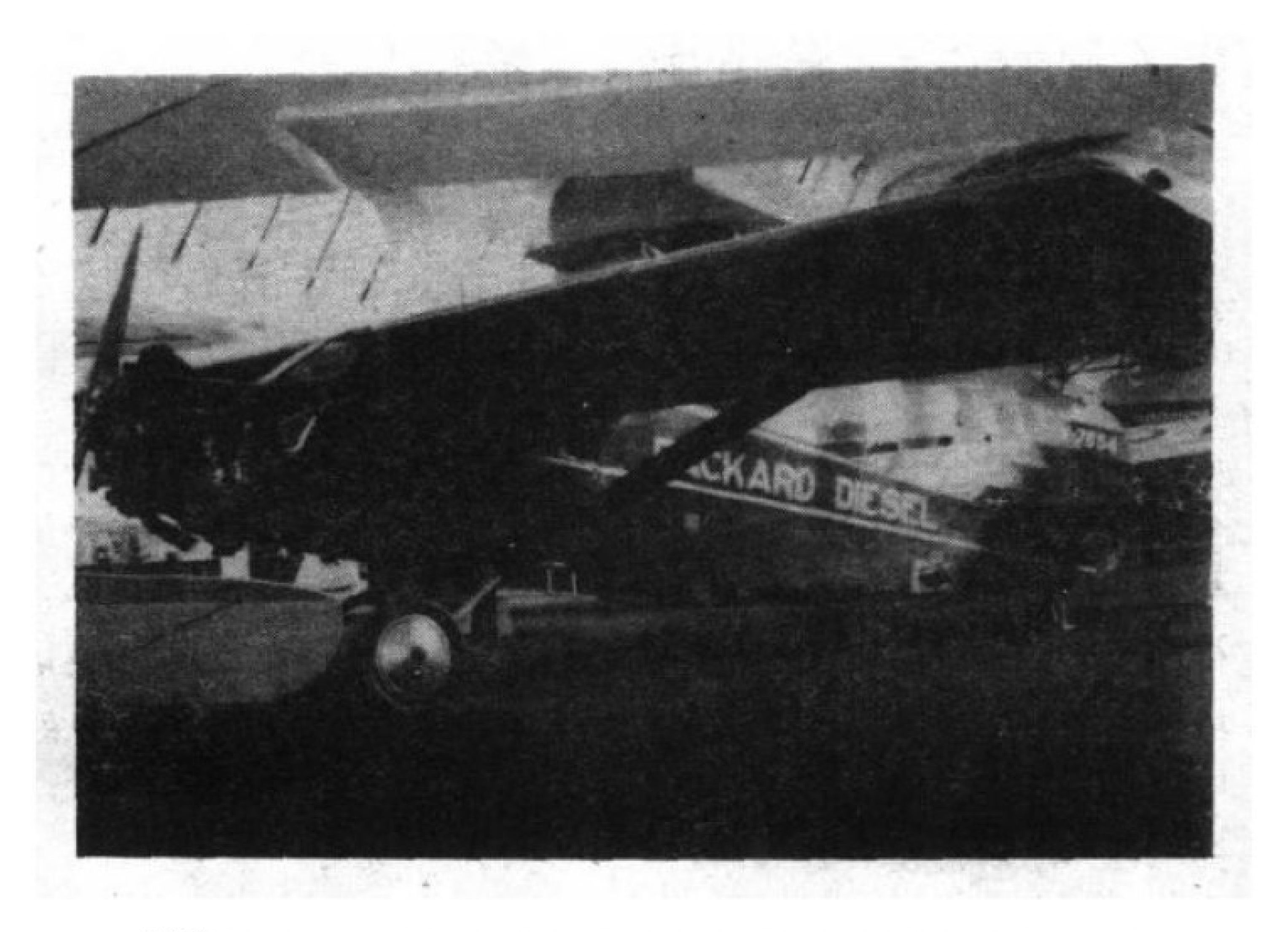
照片33-2　安装在传动轴壳底部、挟着橡胶垫的减震器（照片为不带传动轴的状态）

肯定是黑的。装有帕卡德发动机的飞机，为了使被排烟熏黑的状况不那么显眼，用黑漆把飞机涂成黑色（照片 33-3）。

驾驶员也开始讨厌了。当时没有防风玻璃，在驾驶席上操纵1个小时，就象参加了印第安纳波利斯国际汽车赛 500mile 赛程似的，脸被熏得漆黑。最早驾驶装有帕卡德发动机的斯钦逊号的柴巴利说："开完飞机回家，就遭妻子数落。你又和重油燃烧器一起飞了吧，好大的臭味！"凡事只要太太说话了，就不好办了。帕卡德发动机的没落，从此便开始了。

1930 年 4 月 23 日"先驱论谈报"报道说："因暴风雪，从纽约州艾奇塔起飞的飞机，误把雪埋的小丘当作机场而发生了坠毁事故，3 人死亡。其中一位是帕卡德公司的伍尔森氏。该机装用的柴油机就是由这位工程师设计的。"并且，在第二年，即 1931 年 6 月，又发生了第二个悲剧。

27 号那天，帕卡·克雷玛驾驶着装有帕卡德柴油机的贝兰卡



照片33－3　装有帕卡德发动机的斯钦逊号。机体象夜间战斗机似的，被涂得漆黑，让人觉得有点反常。原来是为了掩盖帕卡德发动机的排烟污染（福特博物馆收藏）

单翼机，从底特律出发，准备经由北极的大圈航线去哥本哈根。飞机在最后的中转站——设得兰岛上的小港开始滑水时，有关人士得到当地有暴风的警报，急忙在拢岸处挥动黄纸打信号。但是机上人员却领悟为“加油干吧，再见！”他们离开水面，绕小镇一周便飞走了。后来，瑞典的无线电台收听到“哈罗、哈罗、哈罗”的英语呼叫，但飞机始终未出现。

几周后，在海上发现了用油纸包着的遗物，从里面的记述得知，事故原因在于发动机。推测是因为机油滤清器堵塞造成的。汽油机里的机油，因汽油而被稀释，使用过程中容易变稀，而柴油机里的机油，特别是在燃烧不好时，由于碳粒渗入而变稠，油滤清器堵塞得快。

当时，社会非常不景气，帕卡德柴油机的价格高出莱特·旋风35％。并且，驾驶员和乘客又都嫌弃它，失去主帅的课题宛如

在空中回荡的克雷玛的呼救似的，渐渐地消失了。

失败的根源

罗伯特·迈耶仔细地分析了这次技术失败的根源，整理如下（附录 A33 - 1）。

(1) 过早地将新技术应用于生产

如上所述，柴油机本身尚在襁褓中，特别是直接喷射式本身，在过渡到开发之前需要作研究和评价。特别是空气一稀薄，排烟马上变浓，今天这已是柴油机的常识，如果飞机装用柴油机，就得增压。后来，成功地将柴油机装载在飞机上的永卡斯就是采用增压方式的。伍尔森也以同样的发明申请了专利。航空柴油机的应用至少早了 3 年。

(2) 喷油系技术差

有记录表明当时的喷油压力为 70 个大气压。① 拿今天的观点来看，是异乎寻常的低。不仅喷油系不行，柴油机燃烧技术也尚未成熟。直接喷射式技术只搞了 3 年是不够的。选择未成形的多尔纳作为技术合作对象本身就是最大的错误。如果急于出产品的话，至少应选择已经定型的产品，然后再加以消化，变成自己的产品，这还得 3 年时间。

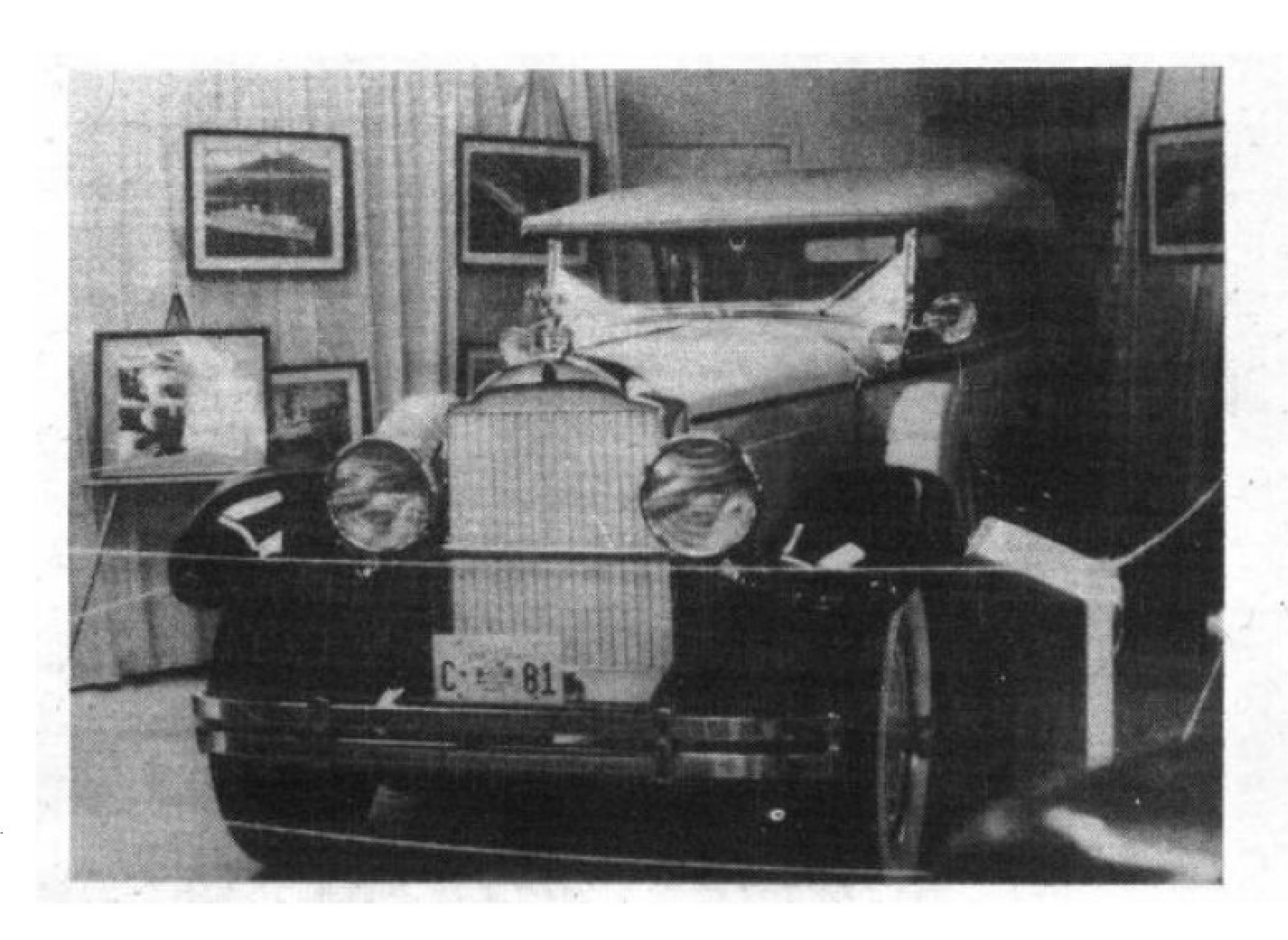
(3) 功率不足

公称功率一样，输出功率却不足，仿佛有点离奇。这是指腾空时瞬间的最大输出功率而言。对柴油机来讲，不幸的是当时汽油的辛烷值迅速提高了，汽油机可不发生敲缸而产生大功率。也就是说，竞争对方的商品性从另一个侧面得到提高。可见，在确定商品的开发目标时，应事先对竞争对方的发展及其环境、相关技术的发展情况作好预测。

(4) 价格太高

① 1 个大气压＝101325Pa

旋风发动机售价 3000 美元，帕卡德发动机售价却要 4025 美元。相差 1025 美元，就是没有振动、冒黑烟以及沾染到衣服上的臭味这些缺点，这个价格恐怕也是难以接受。因为在当时 3250 美



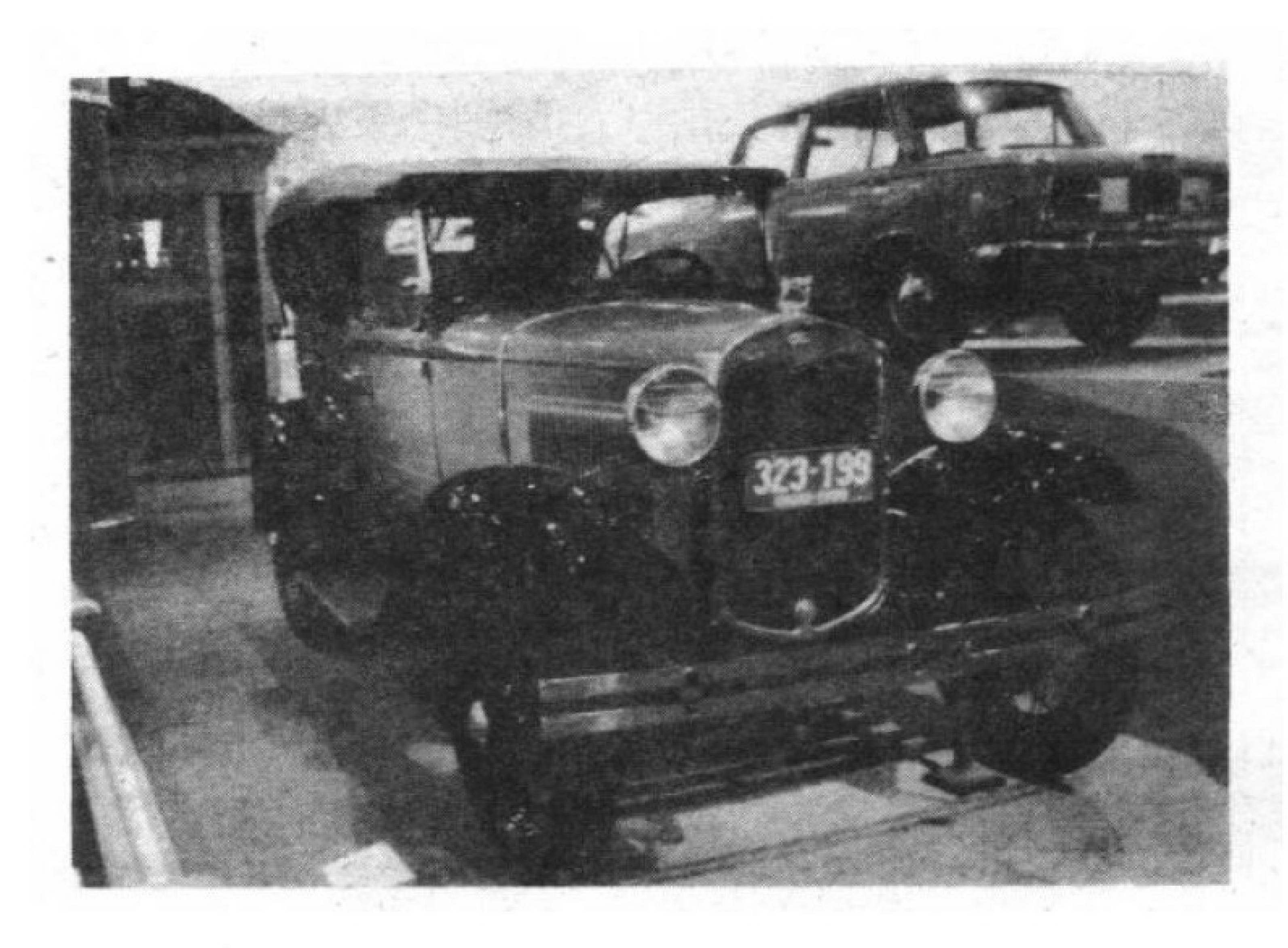
照片 33 - 4　1929 年的帕卡德轿车

元一辆的帕卡德轿车（照片 33 - 4）和仅有 511 美元一辆的福特 A 型都已投放市场。当然，价格这个东西，如果商品力与价格相符并且只要用户认为值得便成立。

帕卡德的焦虑

我们先看看帕卡德公司开发该发动机的背景。旋风这一杰出的发动机作为竞争对手崭露头角后，帕卡德公司力图一举挽回被压过了的局面的焦燥心情，在前面已经有所介绍。那么，帕卡德为什么会如此焦虑呢？

帕卡德公司 1916 年在副经理文森特的领导下，大量生产了世界上首次装有 V12 发动机的轿车。1917 年又乘胜制造了 250hp 的



照片33－5　福特A型敞蓬旅游车。售价440美元(1928年型511美元，收藏于福特博物馆)

航空发动机。从那时起，在美国政府的主导下，制订了有名的里伯蒂航空发动机的开发计划。里伯蒂发动机被称作帕卡德航空发动机的扩大型，为此帕卡德公司得到政府的大量合同款。

里伯蒂发动机在技术上取得了一定的成功。不过，帕卡德公司为了追求高功率，又进一步加大了尺寸并作了改进，将里伯蒂发动机由27L扩大到41L，一味追求提高功率。但因缺乏可靠性而败北。说起来，这次的失败来自烦燥，从而酿成了柴油机的惨败。在开发里伯蒂发动机时，帕卡德公司缺乏最基础的评价工作。

后来帕卡德的V12发动机没有被飞机采用，装到鱼雷舰艇上倒很成功。

此后，帕卡德公司制造了几种名车，二战中还生产了罗尔斯·罗依斯航空发动机，对联合国空军作出了很大贡献。在技术上引以自豪的帕卡德公司战后不幸倒闭。原因何在？下面追逐一下

它的踪迹。

附录 A33 - 1　有关帕卡德柴油机的燃烧

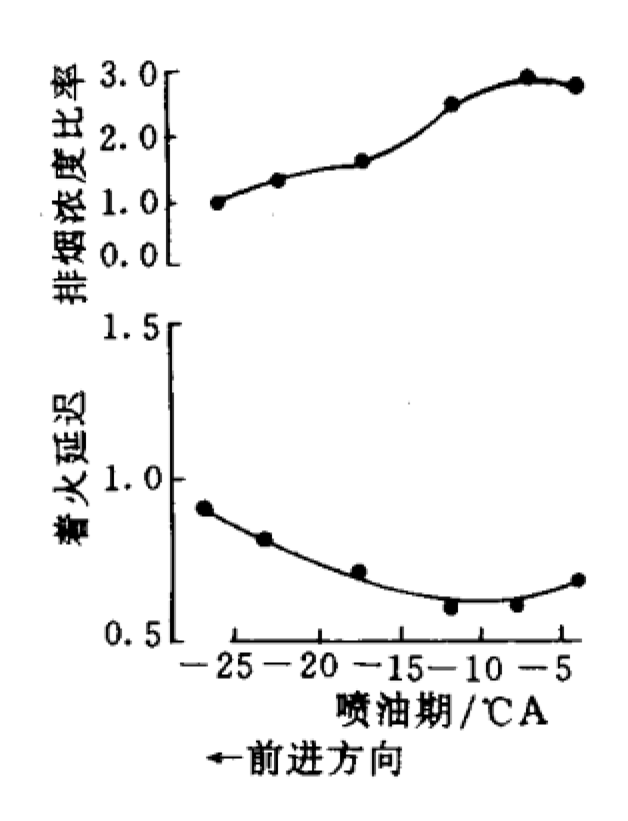
1924 年靠直接喷射式起家的曼公司，1927 年却对这种喷射系统和燃烧室形状作了大刀阔斧的改动，6 年后又转向气室式了。尽管多尔纳也曾采用过使进气产生涡流的基本做法，但是为了进一步追求燃油的微粒化，使空气与油滴很好混合的方法，即使在帕卡德公司也未成熟。

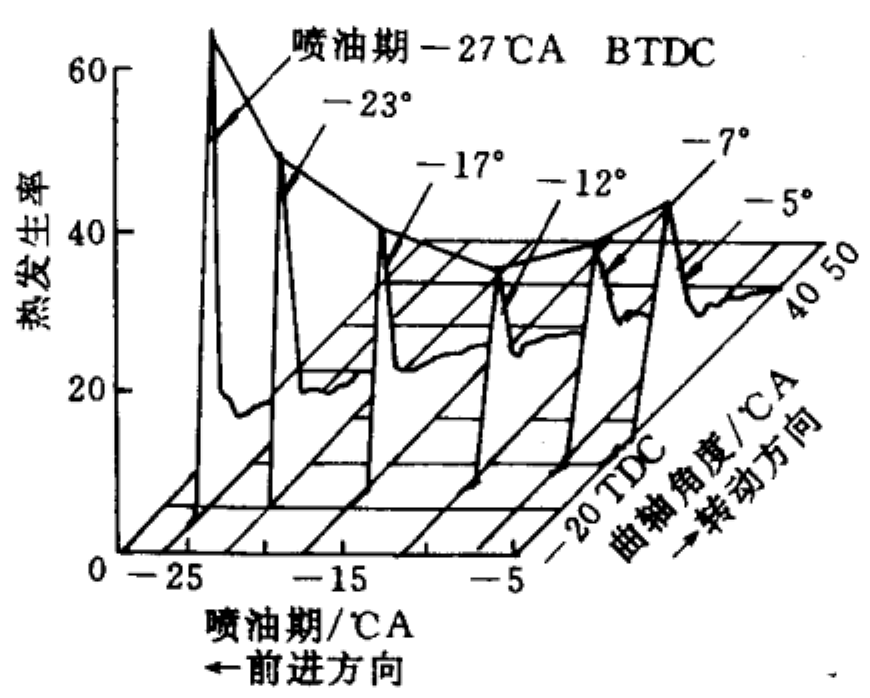
据说当时帕卡德的喷油压力为 70 个大气压，现在的直接喷射式的喷射压力一般为 700 个大气压。当然，700 个大气压是指喷射期间的最大压力。不过，作为喷油阀开启压力也得 250 个大气压。因喷油阀的规格不明，无法计算。但是在这种情况下油滴的平均直径（平均粒径），多孔喷油阀的大约为 10μm。相对于 70 个大气压，30μm 就太大了。

另外，即使能形成涡流，凭当时的技术，无论如何也不能选出适宜的涡流。

结果油滴与空气没有很好地混合便燃烧了。在这种情况下，提前喷油期，可以不冒黑烟，油耗也能相应地降低。所谓喷油期是指一般活塞在到达气缸的上止点之前开始喷油。而开始喷油期就是指燃油被喷射到气缸里没有马上开始燃烧。因为与气缸内的空气混合，油滴的温度上升需要时间（这段时间叫做着火延迟）。预计延迟量为到达上止点前喷油的时间。以曲轴转角来表示到达上止点前的量，表示为上止点前几度。

喷油期提前，就是说，如果到上止点之前的间隔取得大的话，因为气缸里的空气温度还很低，还等一段时间才能着火，在这期间可促进混合。并且，在着火延迟期，被喷射的油量增加，急剧发生爆发，温度和压力都很高，促进整个燃烧，排烟浓度降低（图 A33 - 1）。如果喷油期过于提前，初期燃烧粗暴，不能维持到后期燃烧，排烟再次恶化。





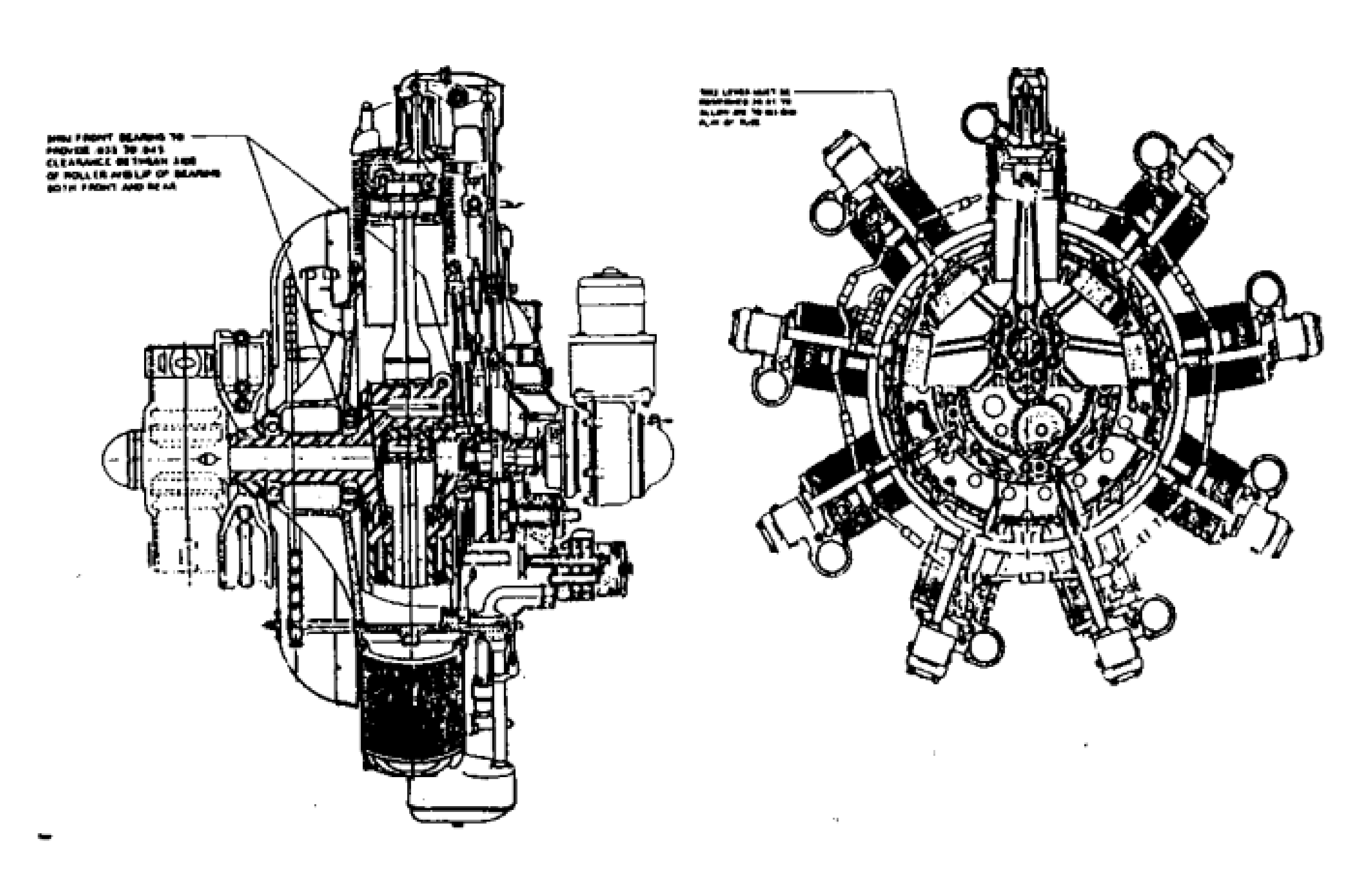
图A33－1 喷油期提前，着火延迟增大，排烟浓度减少。热发生率，即单位时间发生的热量峰值变大，燃烧粗暴（日野试验发动机，2400r/min 的例子）

但是，喷油期提前的这种燃烧，爆发压力和压力上升率都太大。因为最大压力达 105 个大气压，所以尽量提前喷油期是很容易想象的。曲轴单位角度的压力上升率恐怕完全超过 10kg/（$cm^2 \cdot deg^{-1}$）。最近的柴油机通常为 85 个大气压（无增压的情况下）、4kg/（$cm^2 \cdot deg^{-1}$）左右。这样粗暴的燃烧，噪声和振动都很厉害。因此到 1931 年把压缩比从 16 降至 14，臭味肯定越来越厉害。

由于喷油压力低，所以大的油滴附在燃烧室壁上，作为 HC 和

中间的反应成分——醛排出，造成臭味。如果把发动机的负荷加大，即把油门操纵杆向启开方向拨动的话，臭味就会减少，而在怠速和跑道上的滑行中，特别是低温时，臭味严重。

附录 A33 - 2　帕卡德柴油机气缸的固定方式



图A33 - 2　帕卡德柴油机 DR-980（斯密索尼安 phot A 48845）
由柱塞向各缸喷油

如照片 33 - 1 所示，帕卡德柴油机用两根环箍（Hoop）固定气缸。图 A33 - 2 示出整体设计图。从左侧的纵剖面可以看出位于气缸下端的圆形端面的两个环箍，它比一般设计使用的螺栓轻得多。也就是说，为了紧固螺栓，需要开螺栓的螺纹孔，就得准备很大的搭子，搭子的重量不可轻视。

但是，用环箍来固定，果真是个好主意吗？如图 A33 - 3 所示，固定气缸的螺栓必须承受气缸的爆发压力，要事先将气缸固定在曲轴箱上。为此，需要给予螺栓很大的紧固力（负荷），这样即使在爆发压力下，气缸也不会松动（通常取负荷剩余率的 3 倍以上）。

图 A33 - 4 示出这种关系，螺栓拧紧后便伸长，搭子收缩，取

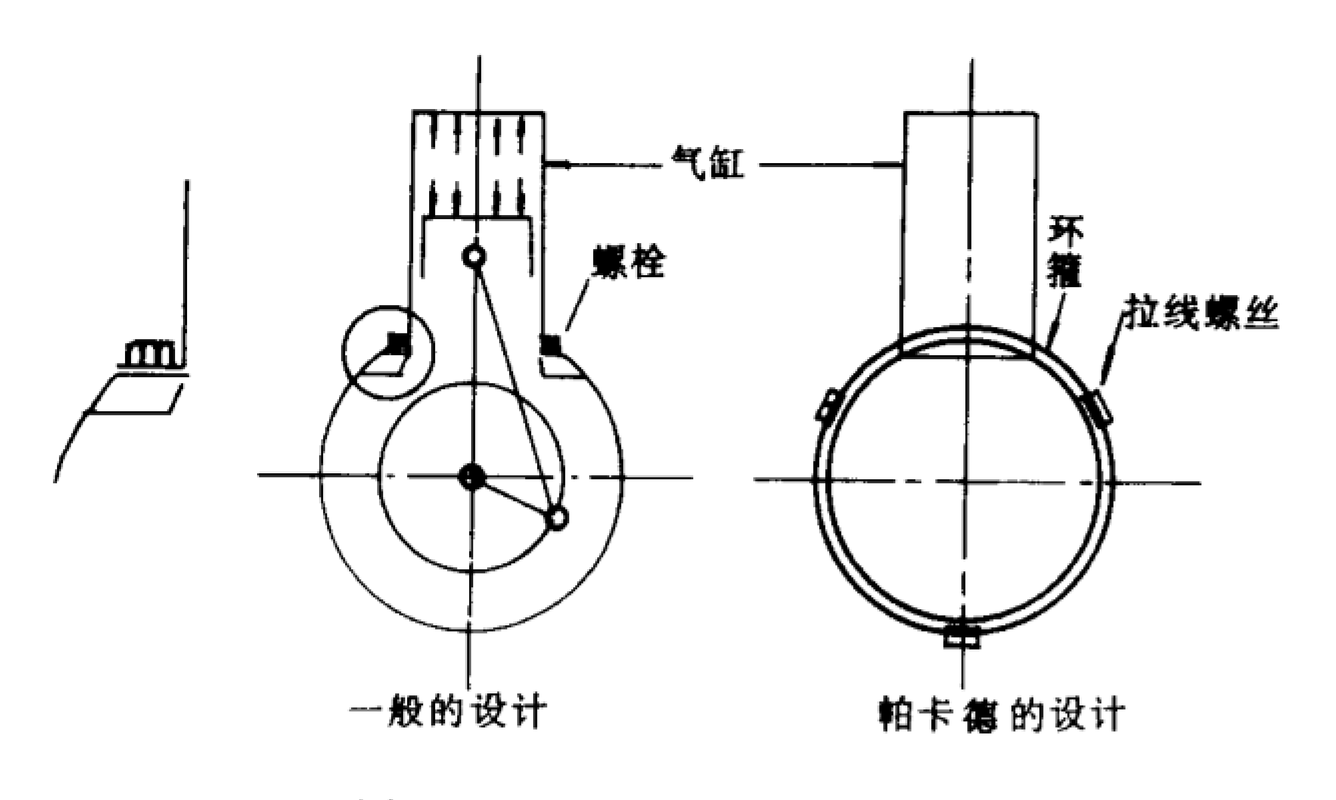


图 A33 - 3　气缸紧固螺栓的设计

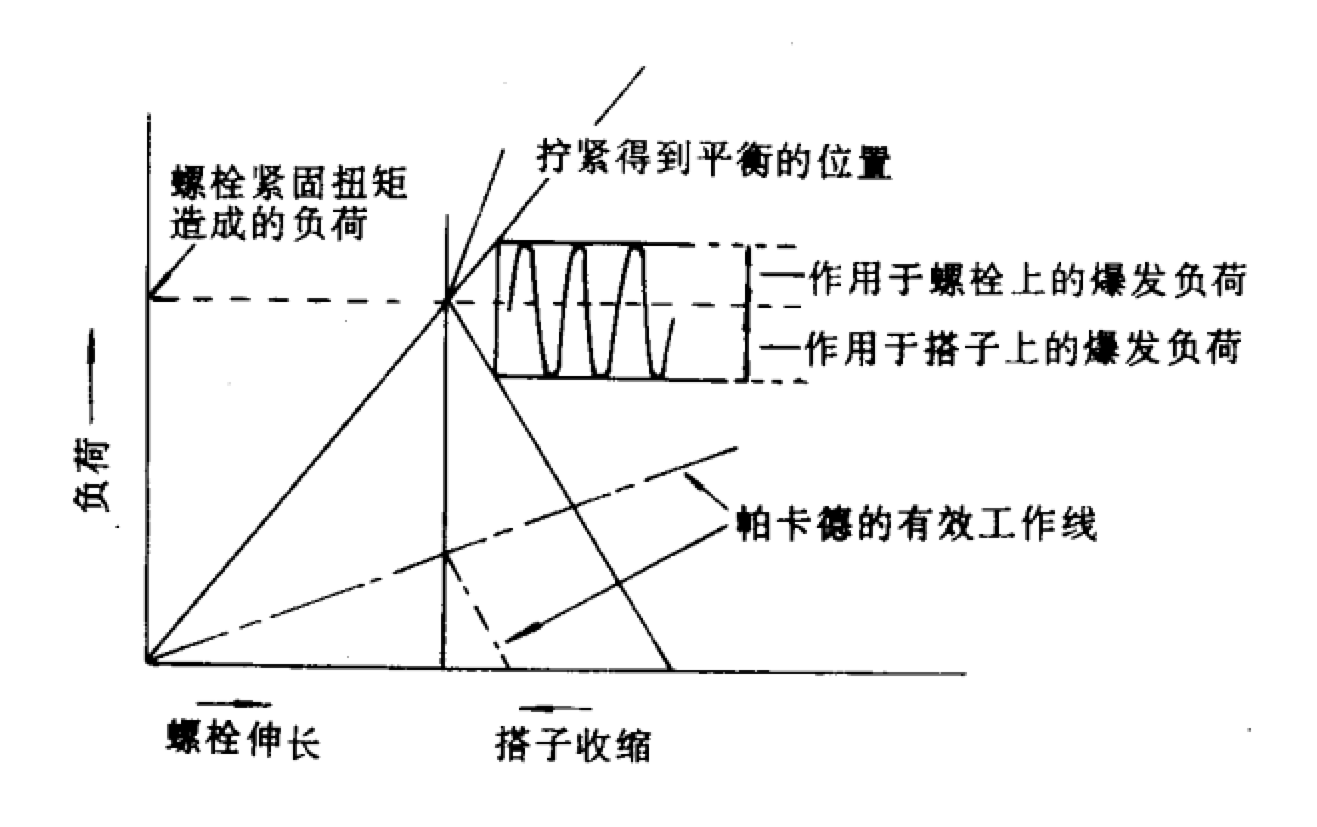


图 33 - 4　施加在气缸紧固螺栓与搭子上的负荷与变形量

得平衡。在这种状态下，如果施加爆发负荷，则力量分别由螺栓和搭子分担，螺栓将进一步伸长，收缩的搭子变得松驰，故紧固力减弱，紧固部分就会松动。而帕卡德柴油机，环箍按圆周方向坚固，所以作用于气缸轴向的只有圆周切向分力。如图示，轴向负荷比紧固力小得多。因而气缸容易松动、漏油和漏气。帕卡德果真没有这种故障吗？

34. 帕卡德的荣光与悲剧（3）

并非品质越好越好。不追求适中的品质，把企业引向穷途末路。

活跃在二次大战中

帕卡德柴油机虽然吃了败仗，但帕卡德公司在二次大战以前发展还很顺利。赫伦曾赞扬说："帕卡德的业绩是在困难的情况下作出了难以想象的贡献。"

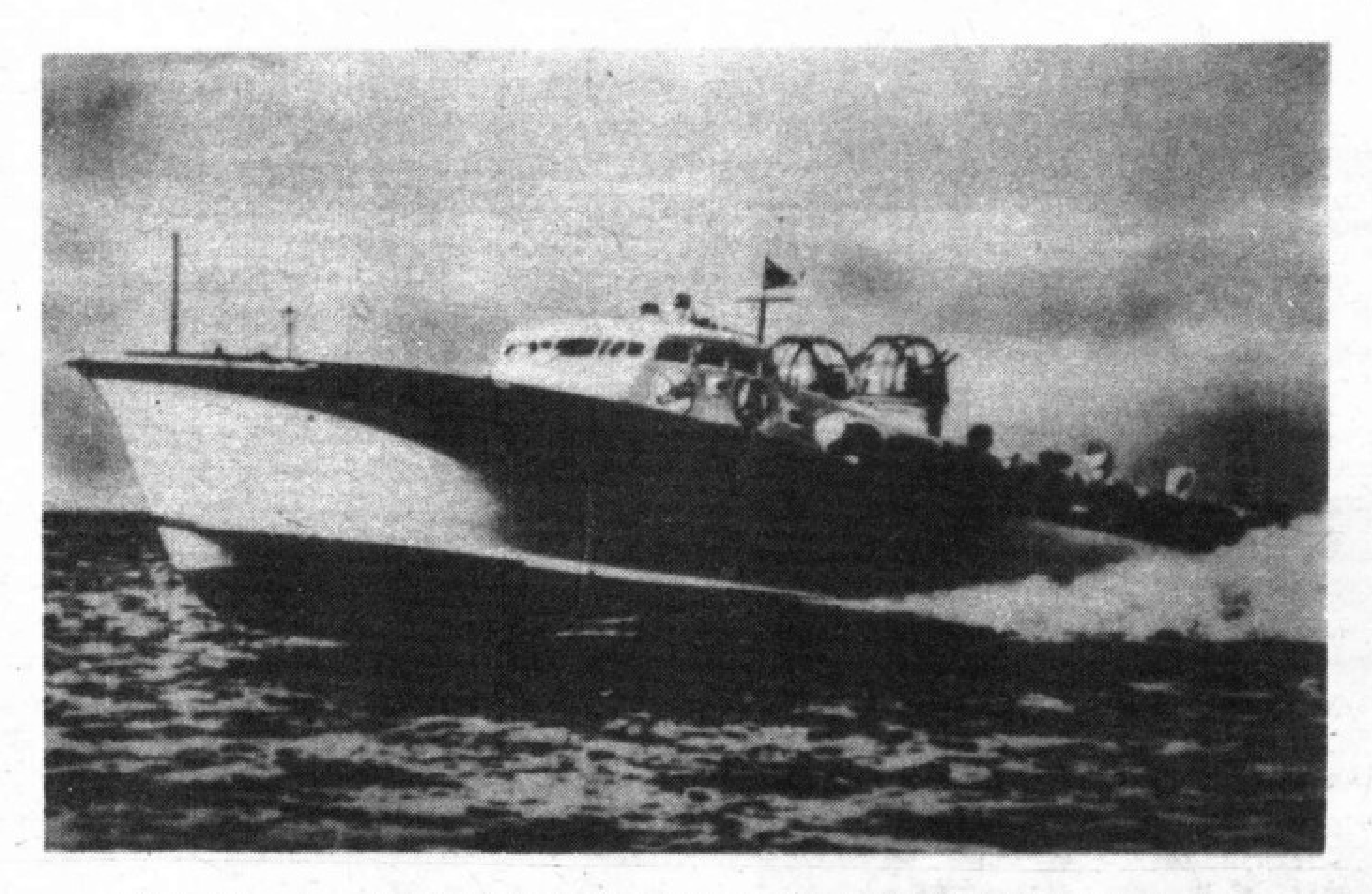
让我们从装有帕卡德发动机，十分活跃的 PT 艇说起吧。

PT 艇是美国斯科特·佩纳斯公司受英国鱼雷艇 MTB 的刺激而独立开发的，在二战前夕被美国海军采用。

所谓 PT 艇就是巡逻鱼雷艇的英文缩写。二战前夕，日本报道该艇在高速行驶中的玉照。日本海军并没有瞧上眼。但是到了战时，它那活跃的姿态却令人刮目相看了。

PT 艇使麦克阿瑟从科雷希多岛脱险。脱险成功后不久，麦克阿瑟便晋升为南太平洋战区的最高司令，率军在菲律宾登陆，接着占领了日本。对此，帕卡德发动机发挥了重要作用（照片 34 - 1、34 - 2）。另外，在所罗门群岛的海域，PT 艇使向瓜达尔卡纳尔输送给养的日军遭受到沉重的打击。当时的肯尼迪中尉乘坐的 PT 舰艇与日军的天雾号驱逐舰相遇，舰身相撞而被击沉。多年以后肯尼迪当了总统时，天雾号幸存的船员给他寄去了贺信，总统深为感动，把贺信装饰在自己的房间里，成为美谈。

掩护从遥远的塞班岛起飞前去轰炸日本的 B29 轰炸机的 P51 战斗机上，装用了帕卡德公司制造的玛琳发动机。玛琳发动机的原型是由英国的罗尔斯·罗依斯设计的。获得其许可证权的帕卡



照片 34 - 1　在所罗门海域使日军挠头的 PT 舰艇装有帕卡德发动机

照片34 - 2　PT 舰艇用帕卡德 4M2500 型。1200hp（瞬间功率为 1500hp）、带逆转齿轮重量为 1340kg（PT 舰艇博物馆）

德·玛琳对原型作了改进，形成美国专利，为美国厂家所利用。帕卡德的确已有这种技术储备。

先导技术

70年代，所有的发动机厂家都遇到了解决排气净化举措上的许多难题，其中一个就是缸套的空穴腐蚀。也就是说，因气缸周围开有冷却水用的水孔，水很快浸入气缸当中，结果了发动机的生命（附录A34-1）。这简直就象侵蚀人们内脏的癌症一般。日野汽车公司在这个难题面前，也束手无策了。就是说，为了减少排气中的NO_x，如果延迟喷油期，降低燃烧温度，则这种癌症就发生了。

然而，帕卡德公司早在1956年就进行了治疗这种癌症的临床实验。并且，在帕卡德牌汽车消失的那一年6月，在美国汽车工程师协会（SAE）上发表了实验报告。那篇论文抓住了空穴发生原因的核心问题，具有光荣的技术传统的帕卡德公司最后一次向人们显示了其技术实力。日野的研究措施就大量地借鉴了这篇论文。可见帕卡德的技术水平之高。

帕卡德的汽车开发技术也常常遥遥领先。30年代第一个开发出AT（自动变速箱），40年代第一个采用液压控制，50年代又率先采用了抛物线型燃烧室和扭杆弹簧式悬架装置等，不断地以先进技术垄断市场。1942年当时的美国总统卢兹贝尔特把1942年型的帕卡德汽车的冲模作为友好的标志，赠送给苏联斯大林。后来，苏联用这套模具制造了“吉斯”轿车（照片33-3）。

交厄运有其原因

帕卡德公司最后生产了1956年型“快船”牌后，便消失了。一贯以质量第一为口号，身体力行，并得到市场、用户以及社会评价的认可，可是，为什么会有这样的结局呢？即使在1955年的普通机械调查中，还有98%的项目在各项评分中夺魁。那么，帕卡德为什么突然消失了呢？

帕卡德作为一个企业，有几个致命性的败笔。导致它衰亡的

有几点。1955 年的生产计划是 10 万辆，实际上只生产了 1720 辆。到了第二年的 1956 年，又造成了 1955 年型库存过剩，不得不廉价出售。另一方面，1955 年乌契卡厂引进了最新设备，行业界和学会都进行了大肆宣传。但是，这是过剩投资。弄到那步田地之前，难道没有预兆吗？

作为企业肯定会碰上不顺当的事情的，但不会无缘无故，企业方面肯定负有责任的。企业跟不上形势就开始要走下坡路了。要挽救衰败的命运，应该及时地反省：为什么没有跟上形势？为什么落后于社会动向？企业的素质行不行？

从二战结束时起帕卡德公司便开始交厄运了。当已经意识到战争结束时，该公司却仍然全力以赴地进行战时的军需生产。因此帕卡德汽车在美国的保有份额由 12%暴跌到 4%。并且，在战后的需求恢复期，仍按战前的基准购入材料，造成后来的原材料不足，帕卡德公司从那时起已经开始滑坡了。

质量过剩与质量管理不善

一是飞机制造和汽车制造有区别（或曰军用生产和民用生产的区别），该公司的这个区别较暧昧。在技术上、设计上的区别不必说，生产工艺方面，即使单拿加工精度一项来看，飞机和汽车的要求也有很大差别。战时福特汽车公司拟生产普兰特-霍特尼发动机，最初无法生产，后来得到普兰特-霍特尼公司的全面支持，才好不容易步入轨道。反之，靠自己的力量能够生产罗尔斯・罗依斯・玛琳发动机的帕卡德公司却适得其反。作为汽车太多的部位质量过剩，因此生产经常落后于计划。

并不是质量越高越好，需要经常把握变化的市场需求，制造出“适中的质量”。市场对于过剩质量，仅评价为“优秀”，别无所赐。比别的公司先走一步是必要的，但先走十步，就没有必要了。

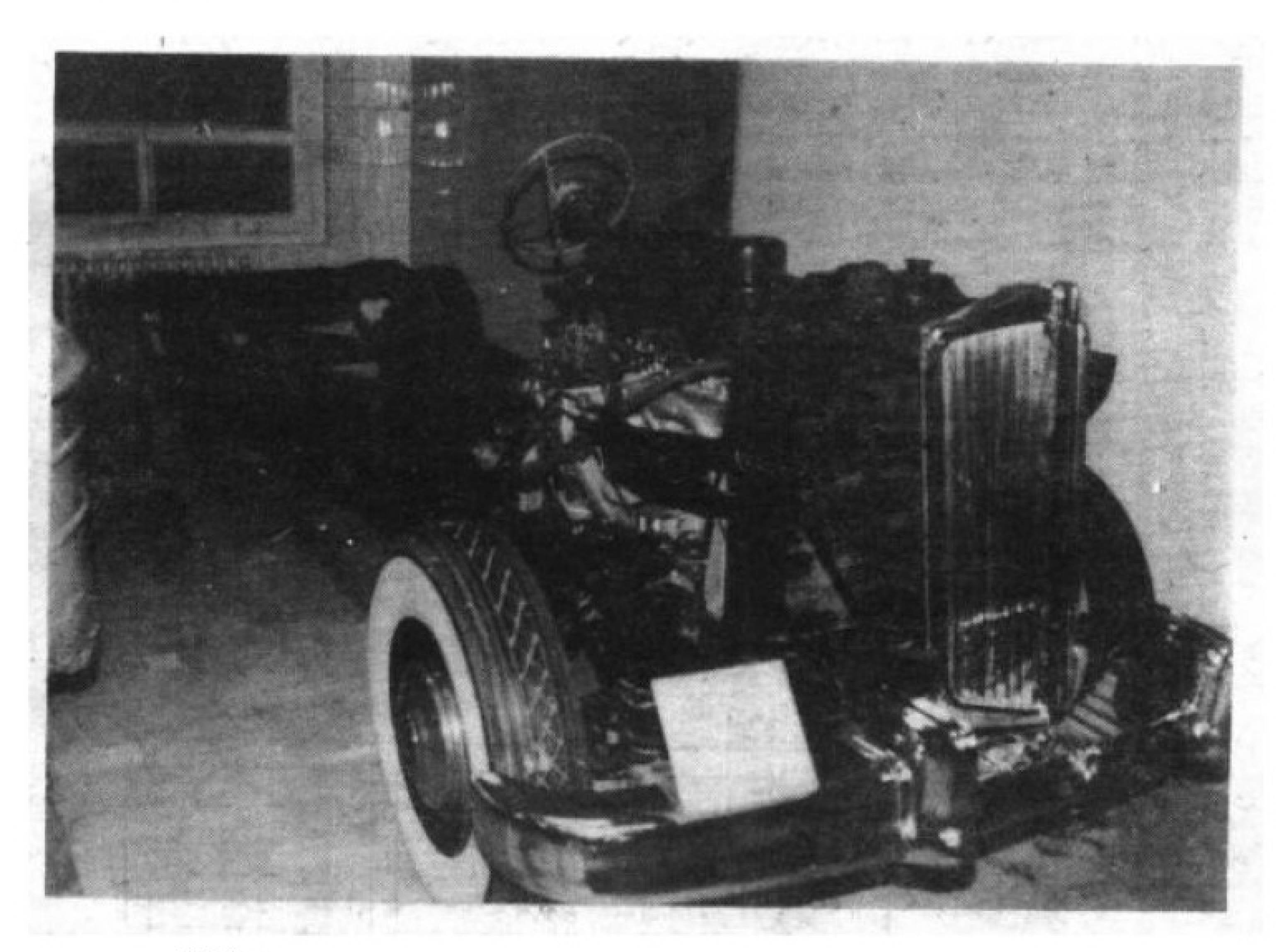
帕卡德公司在这个方面，首先设计技术和生产工艺、销售情报的反馈，销售计划与销售技术脱节。

并且，1956 年因后桥制造不良，两次回收修理 5400 辆车。不仅如此，由于对协作厂家的质量管理不严，协作厂家制作的座席

的橡胶垫太硬，不得不无偿更换了所有车上的座垫。

这样一来，整个公司就乱了套了。曾使不发达国家青年的我兴奋得辗转难眠的那精湛的车型，突然变成了沉溺于饮酒的放荡公子型（照片 34 - 4），显赫的传统竟然未发出任何警告，便走到了穷路末路。

帕卡德公司已无回天之术了。1961 年被泛用发动机厂家——奥南收买。

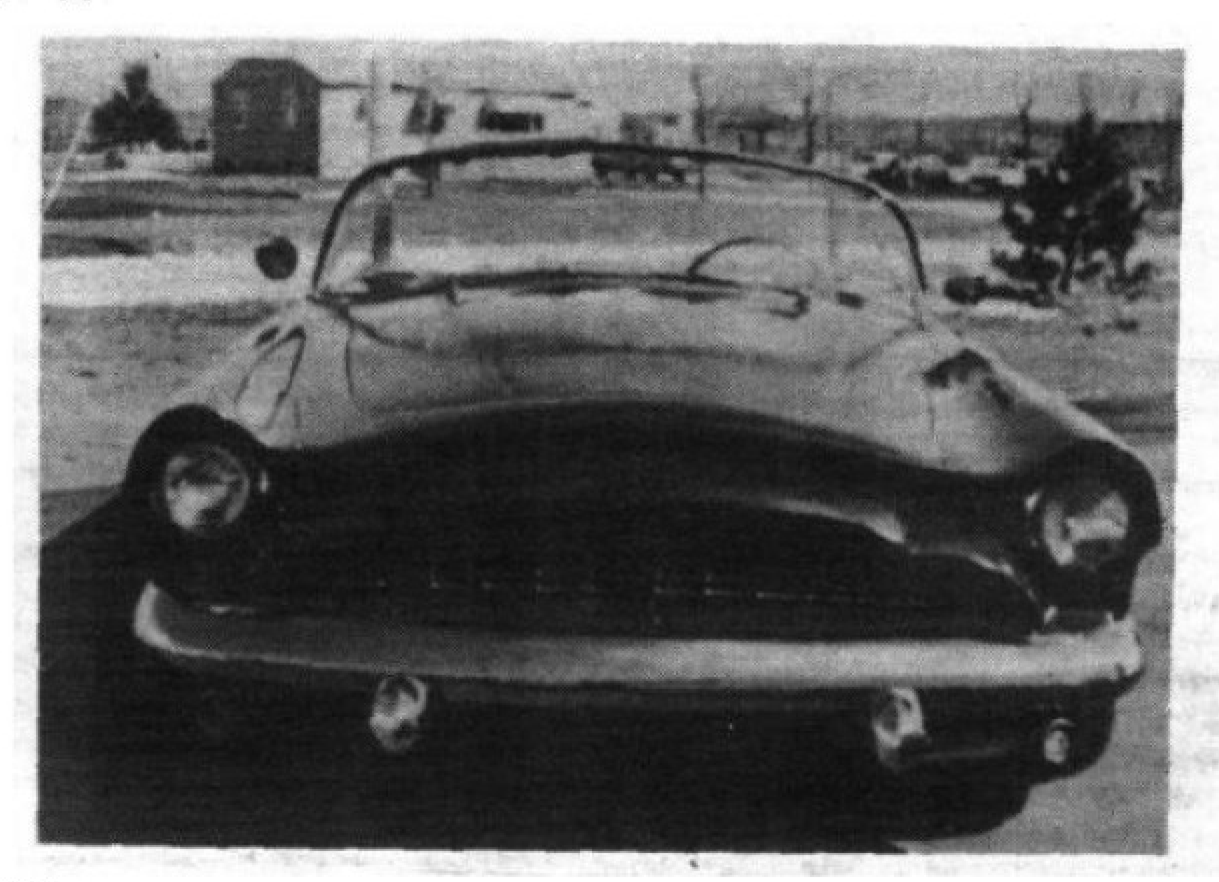


照片34 - 3　帕卡德的婚外子吉斯（1946 年）。它的前脸和帕卡德的一模一样（莫斯科科学博物馆）

附录 A34　缸套的气蚀

缸套的振动是诱发缸套气蚀的原因。由于振动，缸套首先向内侧急剧变化，那部分的压力剧减到冷却水的蒸汽压力以下，这时发生气泡（图 A34 - 1）。接着，缸套向外侧位移，因压力局部骤增，故气泡分裂。分裂时为什么会产生穿孔那样的冲击压呢？就这一点而言，今天有冲击波学说和水击学说两种学说。图中示出

浅显易懂的水击学说。它的分裂的模式，象枪头状损坏，可看作侵袭气缸周围所致。照片 A34 - 1 为缸套周围产生的气泡，它因振动而分裂。



照片34 - 4　1954 年的帕卡德·潘莎·代特那。突然消失的帕卡德的后裔，其车型使人联想到酒精中毒的放荡公子

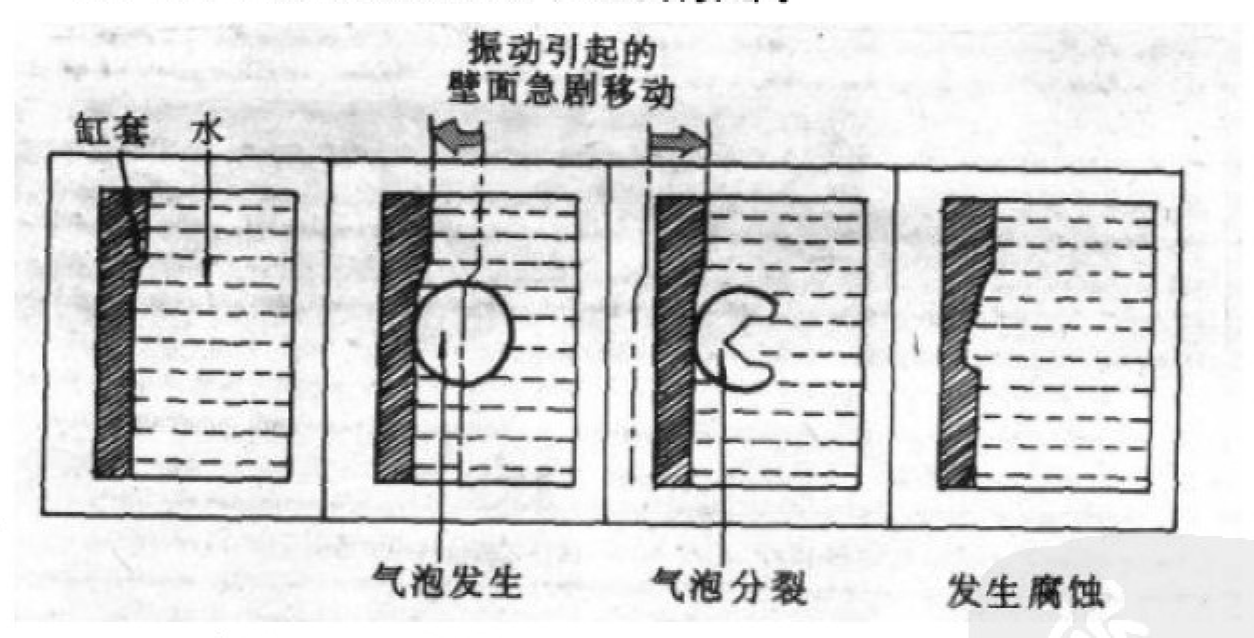
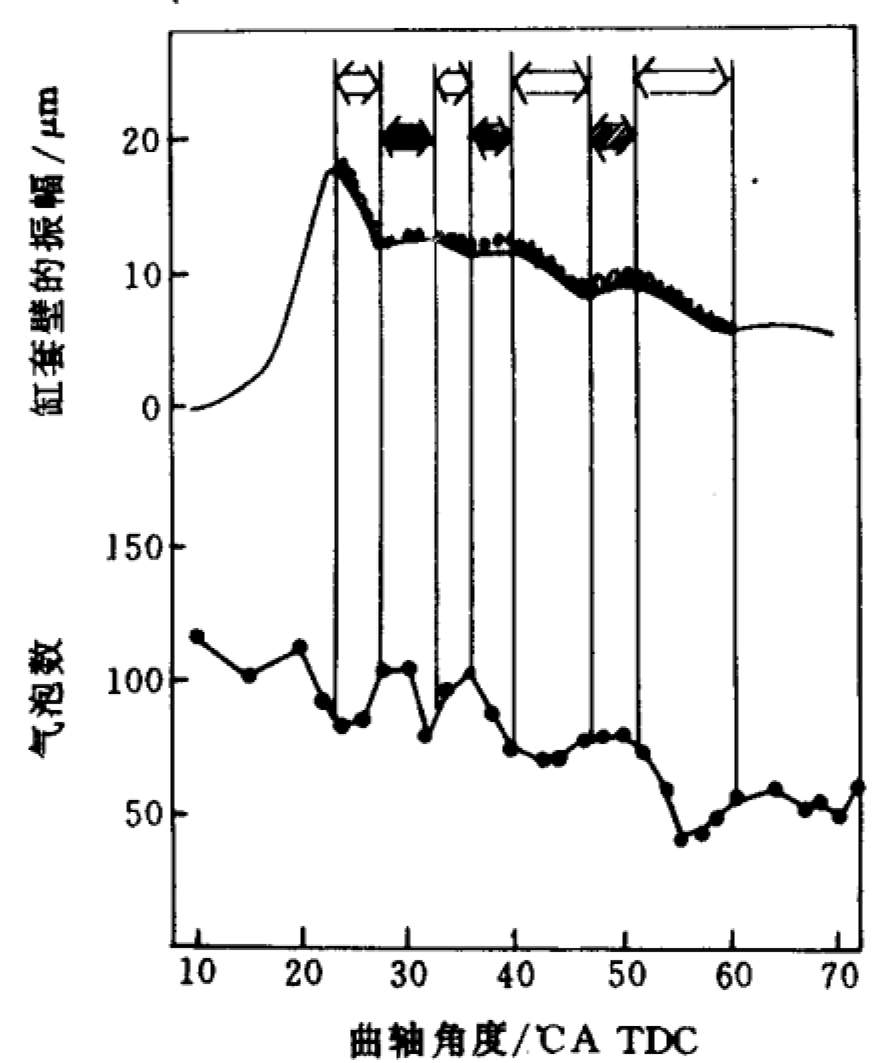


图 A34 - 1　气蚀。振动导致气泡的发生与分裂

图 A34 - 2 示出气泡分裂的状况，可以看出气泡的发生和分裂是随着振动而发生的。

而发生这样振动的原因如图 A34 - 3 所示，是活塞摆头所致。日野由于采取排气净化措施，正好在摆头的瞬间，爆发负荷增大，



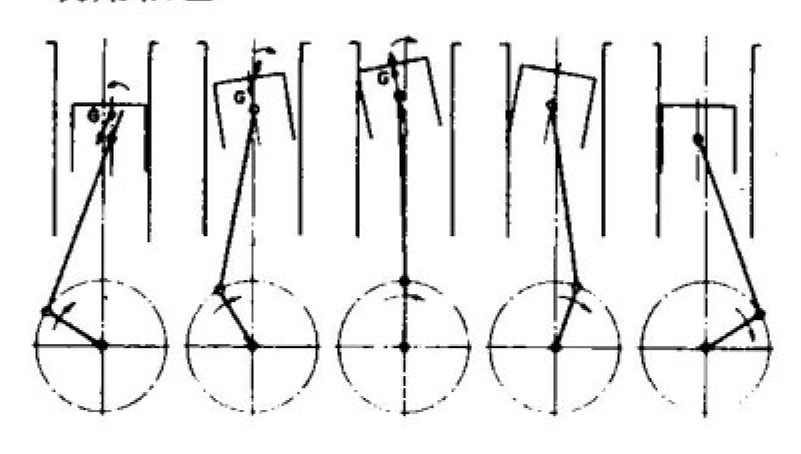
图A34－2　由于缸套振动，外壁反复发生气泡并进行气泡分裂。在气泡分裂时又发生气蚀

缸套的振动发生了变化。图中就现用的活塞与采取偏置措施的活塞的摆头情况作了比较。

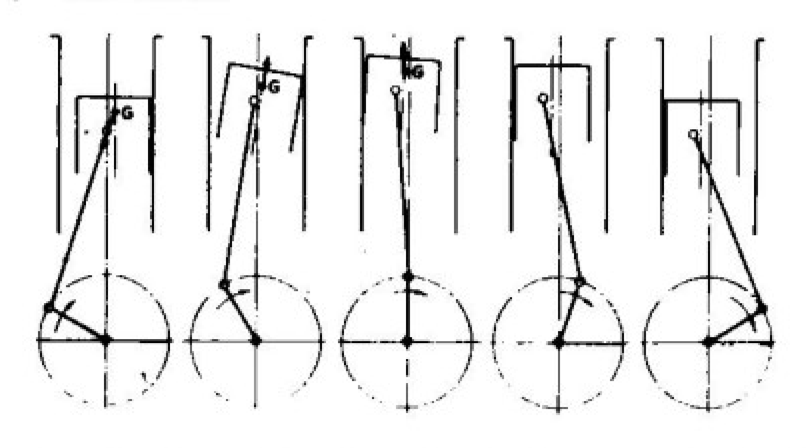
顺便提及一下，1978年东芝机械公司向苏联出售了加工潜水艇的螺旋桨的设备，作为违反巴黎统筹委员会规定的事件引起了轩然大波。原因是过去利用水中测音器能探测到螺旋桨的动静，而使用这种设备加工出来的螺旋桨，就探测不到声响了。即，原来的螺旋桨的气蚀气泡发生分裂音，而采用这种设备后，制造出的螺旋桨不发生气蚀，因此也就听不到这种气泡分裂声了。

可采用AE（声幅射）法捕捉气泡分裂时的声音。图A34－4虽不是螺旋桨的例子，但是，是把发动机内部各个部位发生的气蚀作为音响捕捉的例子。

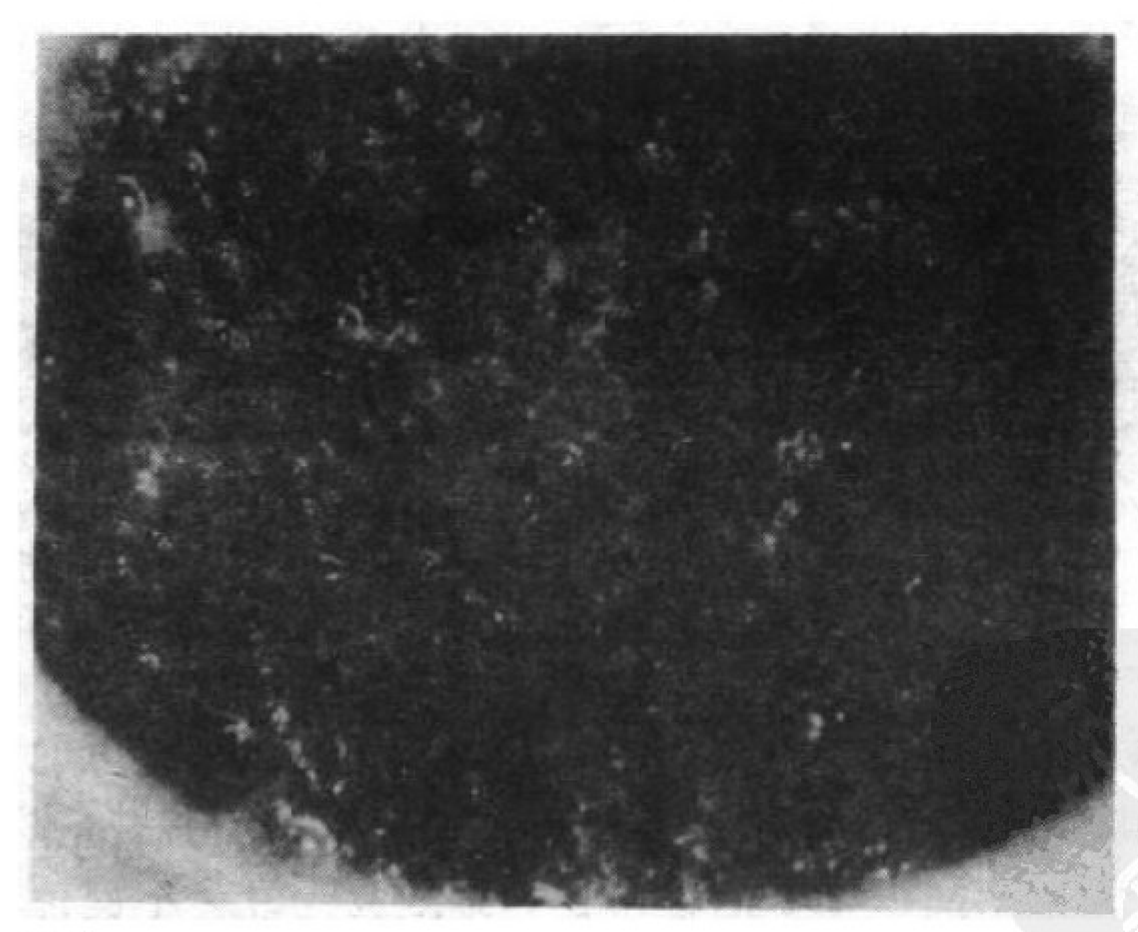
现用活塞



偏置活塞



图A34－3　活塞在每个行程都发生摆头。摆头的冲击诱发气蚀。图中示出摆头的情况及偏置活塞的效果



照片A34－1　缸套壁面上发生气泡的情况（日野试验发动机，1800r/min，2/4负荷）

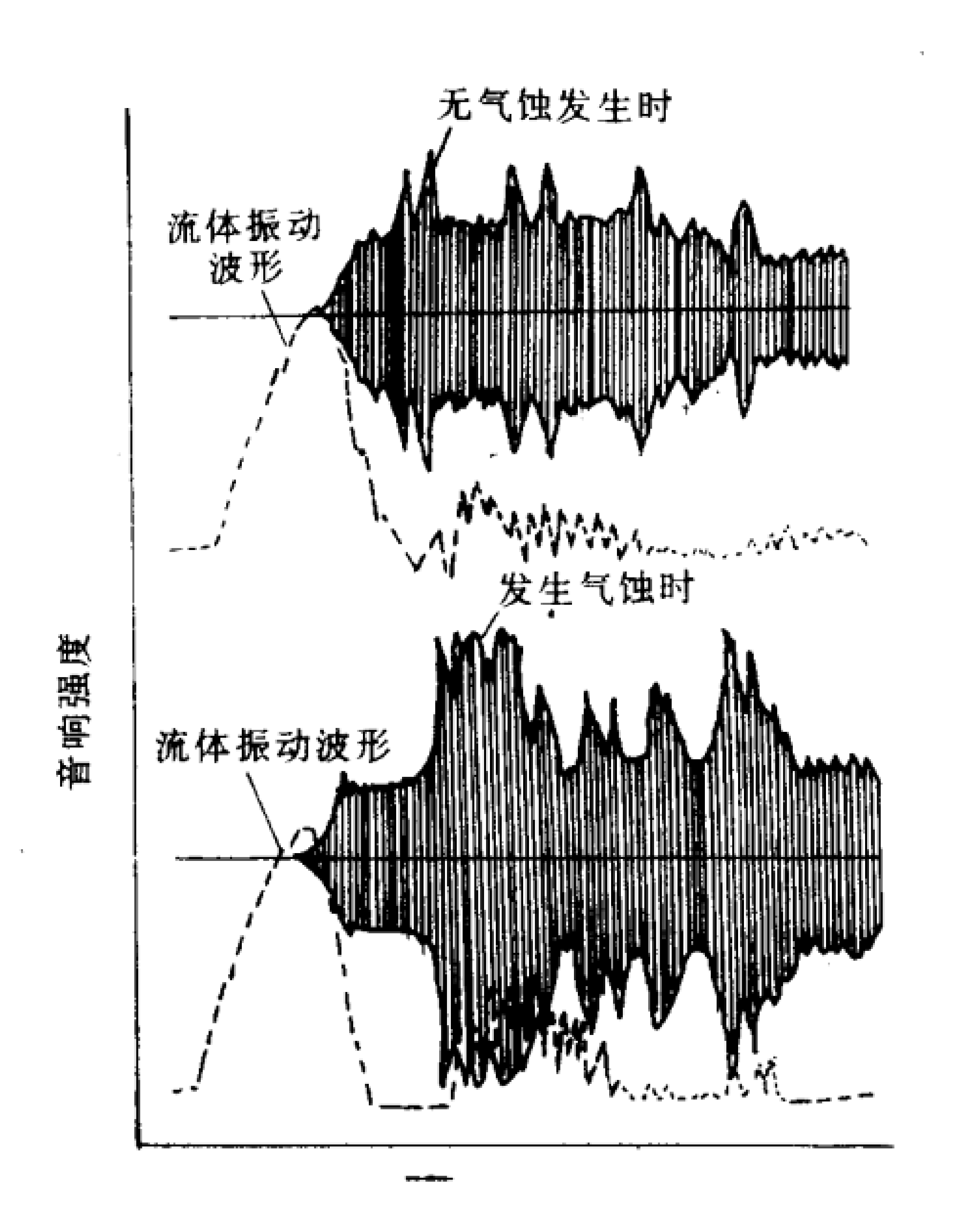


图 A34 - 4　用声音幅射法捕捉到的气蚀发生时的音响（日野试验发动机）

35. 航行者号与航研机

向稀薄燃烧挑战的发动机。双发实际上是单发。同时避免了重新开发柴油机的冒险。

餐巾纸上诞生的航行者的浪漫

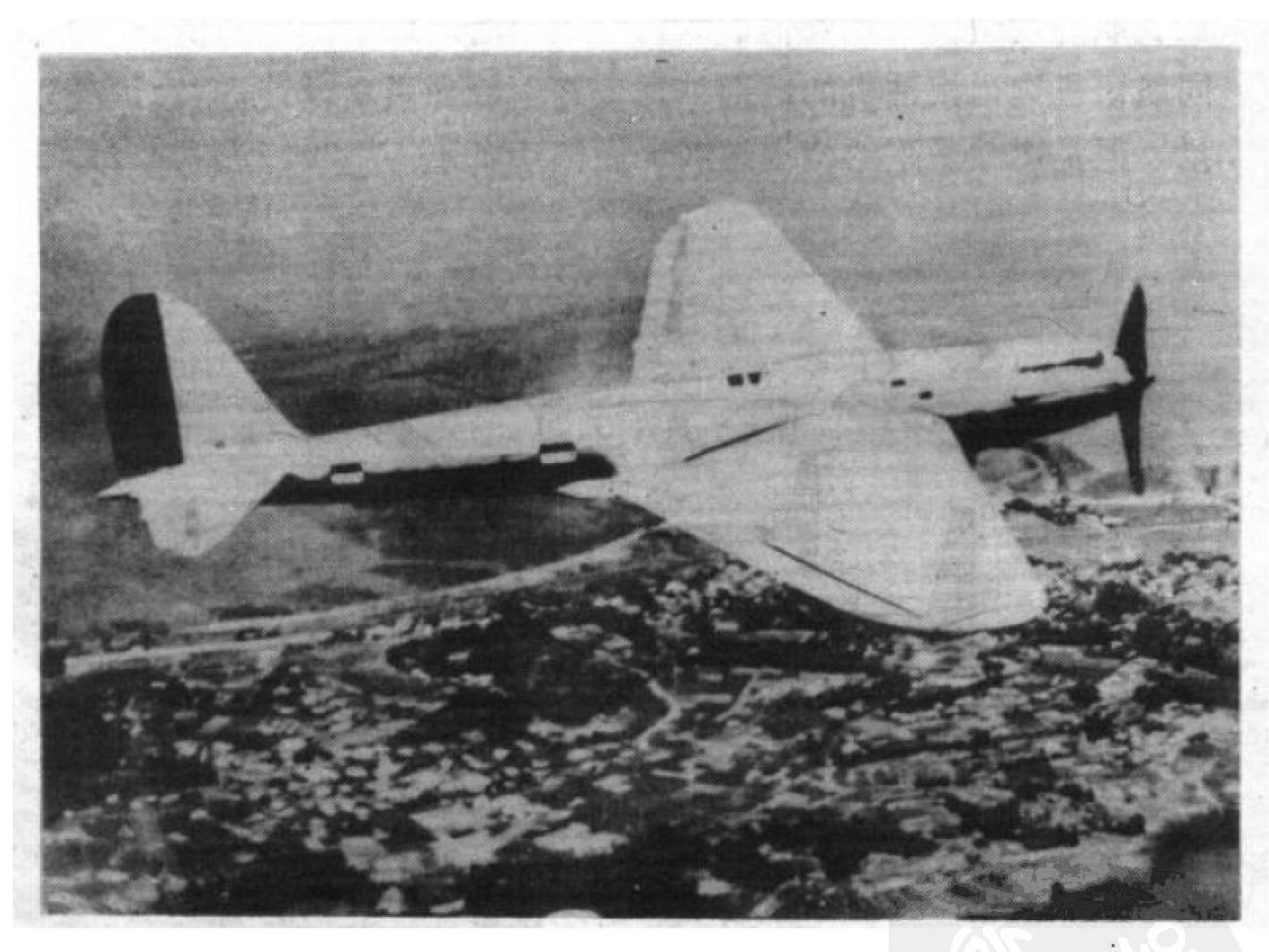
第 31 章介绍了特雷达因·康契年塔尔公司制造的星型航空柴油机的复苏。据说 1986 年秋，中途不着陆、不加油完成了绕地球一周，使世界沸腾的航行者飞机就装用了特雷达因·康契年塔尔公司的发动机，不过是汽油机，而且不是星型发动机。下面追溯一下由特雷达因·康契年塔尔特殊型发动机引发的航行者号飞机的浪漫轶事。

迪克·卢坦(Dick Rutan)和为了减重而不惜剪去长长金发的女友珍纳·耶格(Jeana Yeager)一起驾机环球一周的飞机是卢坦兄弟设计的。弟弟伯特·卢坦是在咖啡馆将最初的构思描绘在餐巾纸上，与哥哥迪克磋商的。完成的机体大约重 820kg(带附件)，装载大约 5700L 燃料（约 4200kg)，全行程为 46 000km。

却说航研机的参数如 26 章所叙，据日野保存的资料表明，机身质量约为 4200kg，燃油装载量为 7500L（约 5500kg)，飞行了 11 651km，创造了当时的世界纪录。航行者号飞机所装燃料是自重的 5 倍，而航研机的燃料装载量只是自重的 1.3 倍左右。这个差距是由于 50 年来结构材料的进步和使用计算机进行有限元设计的结果。此外，与飞机上匹配了油耗性能良好的双发动机也极有关系。

技术管理的实质

航研机为了降低油耗采用了稀薄混合气燃烧方式，并且为了防止随之发生的不规则燃烧引起的排气门烧损，开发、应用了独具匠心的空气冷却阀，从此油耗率降至 180g/(hp·h)，当时的一般水平为 220～230g/(hp·h)，故大约降低了 20%。航研机最初的计划是装用柴油机，并以装用航空柴油机的长途机研究的名目得到了研究经费。



照片35-1 飞翔吧航研机（1938年）！舍弃航空柴油机的诱惑，装用了改造的土气的 BMW 发动机而创造了世界纪录。藤田少佐们不受“已环球一周”的诱惑是成功之本

对此，富塚清教授认为凭借当时的技术水平，将柴油机装用在飞机上令人担心，因此坚决地排除了柴油机制造方案，主张对

已有使用经验的川崎 BMW—9C 型进行改进，即主张采用稀薄燃烧方式来降低油耗，并促进了该方案的实施。回首帕卡德柴油机的悲剧，就知道富塚教授的判断是何等英明。特别是在柴油机已面世的诱惑下，力排众议的努力和高见令人叹服。

长距离连续运转，显然可靠性是第一重要的。因此在选用发动机时，往往选择尽管其貌不扬，但却经过长期使用考验，绝对可靠的产品（照片 35 - 1）。

另一方面，航行者号所处的环境，与航研机颇为相似。如前所述，特雷达因·康契年塔尔公司在其构想萌生的前一年，宣布试制航空发动机。尽管他们的脑海里不时闪现柴油机的倩影，如同航研机选用汽油机的情形一样，终于放弃了新设计，采用有销量，但是成绩平平的特雷达因·康契年塔尔 10L200 型。

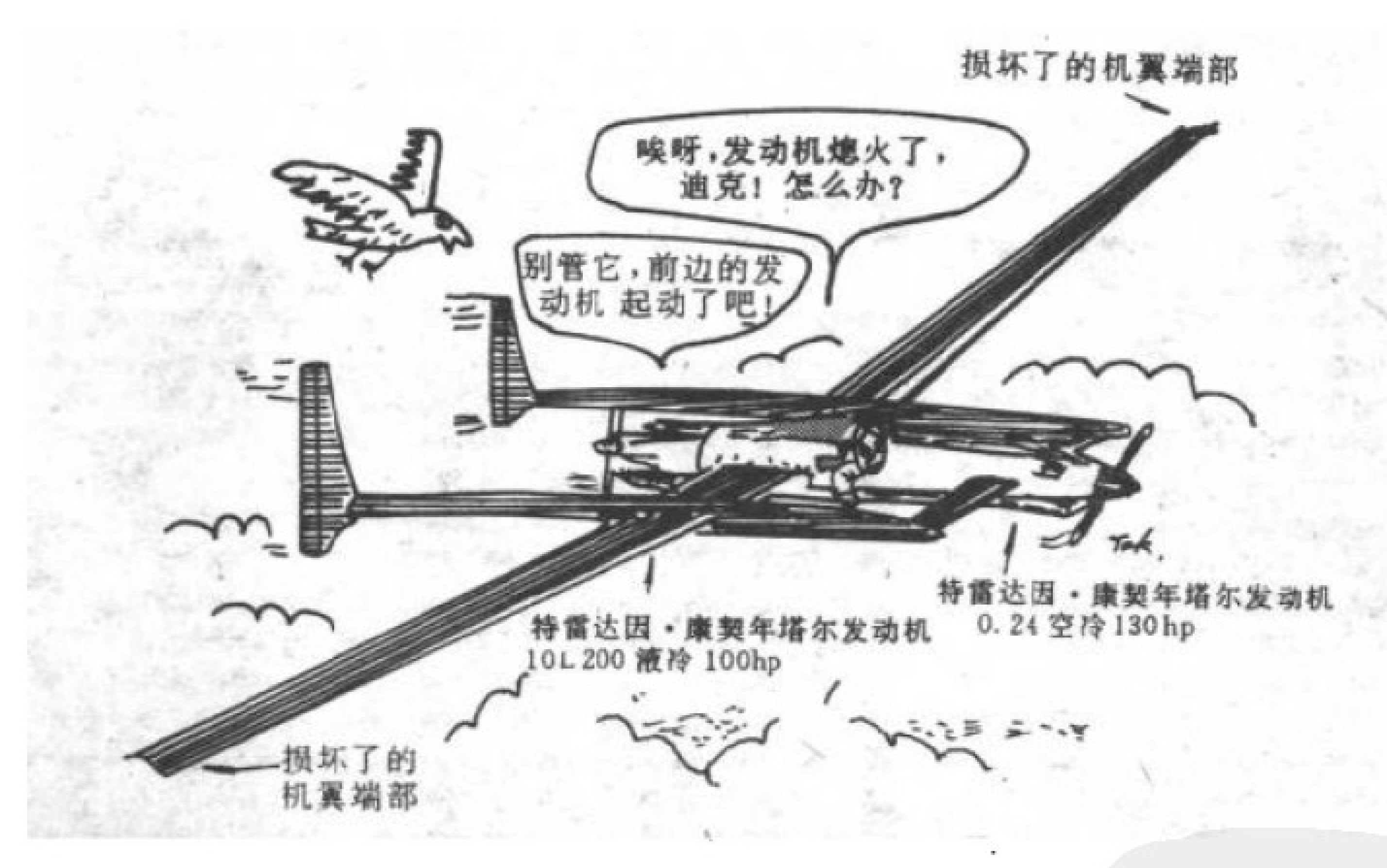
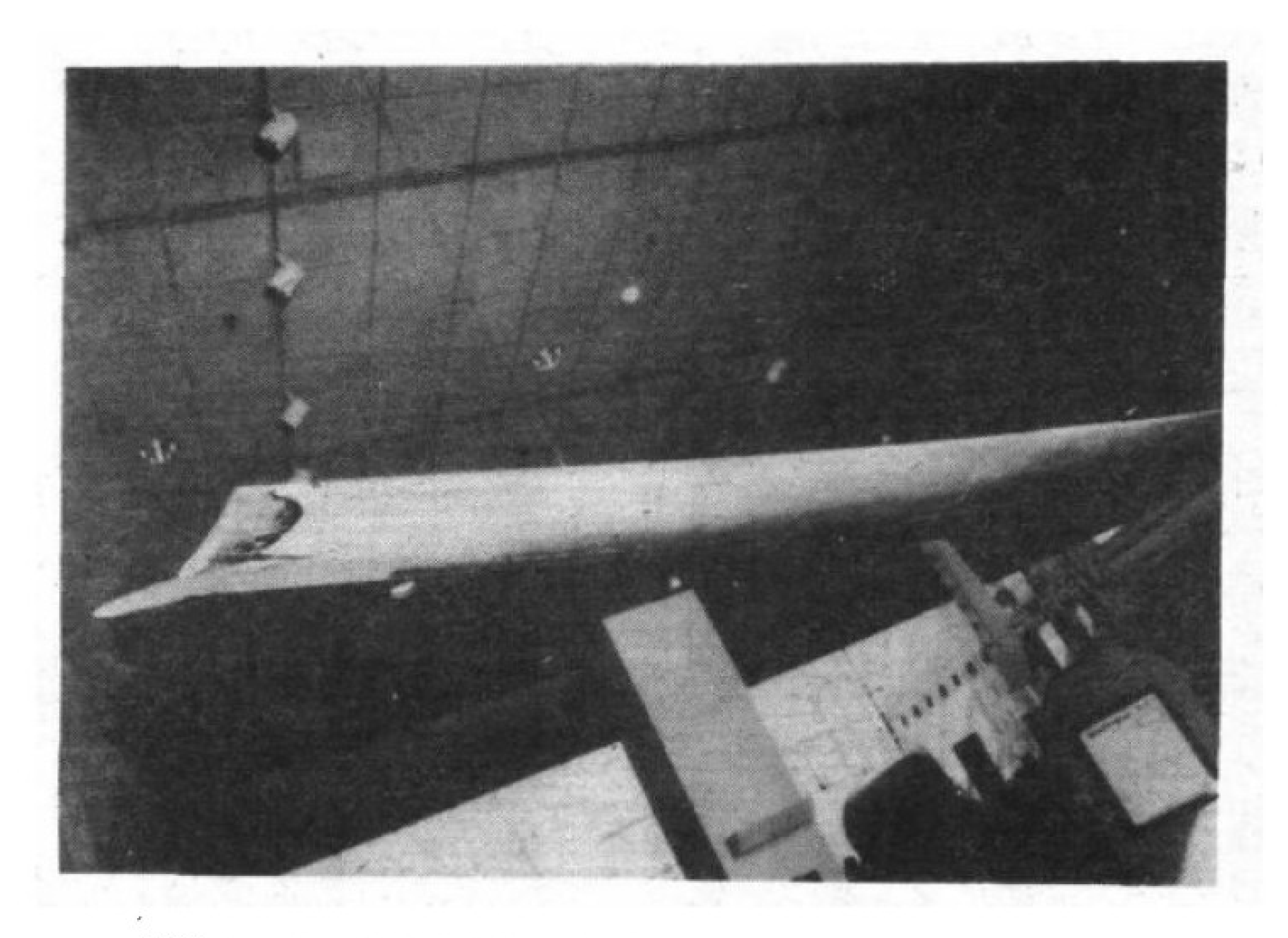


图35 - 1　飞翔吧航行者（1986 年）！发动机为布置成梳子型的双发。主机在后，前方发动机只在机体重（燃油多时）临时借用

如图 35 - 1 所示，将未作任何改动的原发动机配置在前方，采用稀薄燃烧方式降低油耗的改进型布置在后面。设计思想是，在飞行之初，因装载大量燃油，用前后两方的发动机使飞机上升到



照片35－2　满载燃油起飞时，航行者号飞机的机翼端部触地破损。返航还是飞行？一时犹豫不决。但是对设计的坚定自信使之下决心起航，终获胜利（斯密索尼安博物馆）

大约 5000m，然后使前面的发动机停转。这样一来，飞机因为动力不足，逐渐降低高度，当下降到大约 3000m 时，再次起动前面的发动机，飞机再次升高，如此周而复始。燃油大量消耗后，机体变轻，只靠后面的发动机就能悠然自得地飞行了。

说得再详细些，即首先使主机翼处于最佳升力阻力比，即使相对空气阻力升力处于最佳效率状态下，将迎角控制在 1°这样的低数值。因此，在满箱燃油时，如果不把飞机速度提高到一定程度，则浮不起来。计划这时使用前后两方的发动机，机速约为 200km/h 以上。燃油减少，重量减轻后，只开动后面的发动机，以 80km/h 的速度飞行。

周密的设计

主力的后方发动机，为使燃烧室周围的冷却均匀、改善燃烧

状况，由空冷改为水冷。并且活塞还采用了油冷却。从而发动机的压缩比由原来的 7 提高到 11。与稀薄燃烧相辅相成，油耗大约降低了 20%，得以问鼎最高纪录（参考图 35 - 2）。负责这一设计的是伦·威尔金斯。

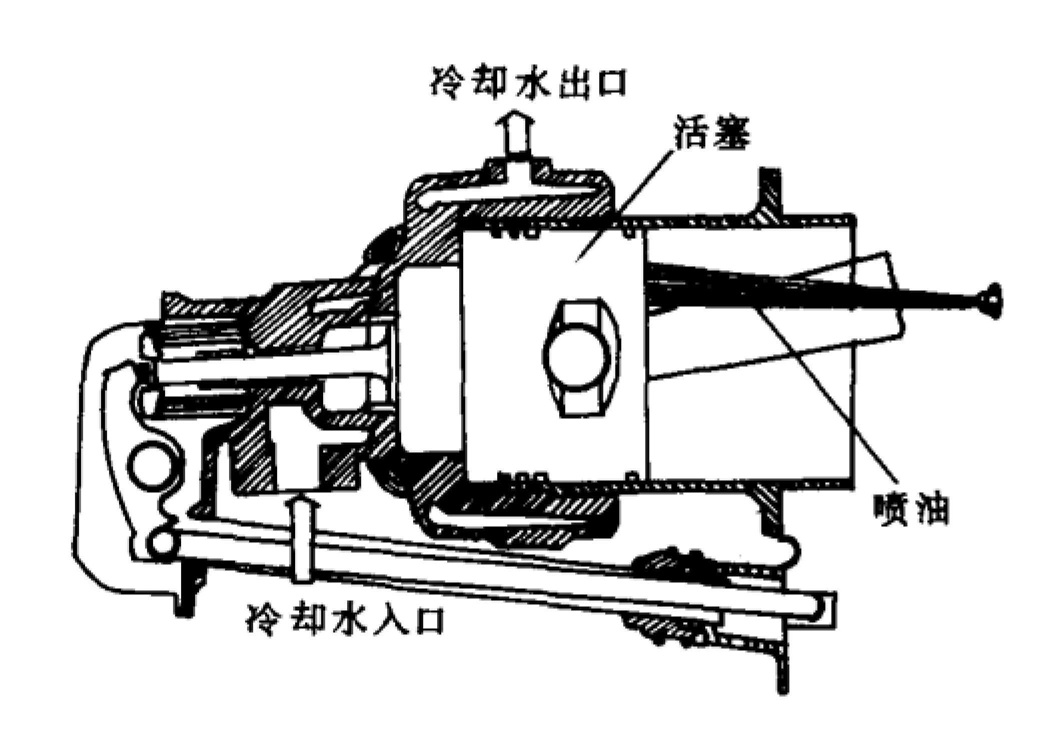


图35 - 2　航行者的主发动机由空冷发动机改为水冷发动机，活塞改为油冷，压缩比由 7 提高到 11，油耗大大降低

双发动机在最危险时刻发挥了最大威力。有一次飞机在接近最终目标盘旋时，后面的主发动机突然熄火。而为了减重，已经把主发动机的起动器卸去了。飞机逐渐降低高度，已降至 1700m 了。这时驾驶飞机的是卢坦。他沉着地重新起动了前面的发动机，最大限度地提高了机速。因而后面的发动机由于来自螺旋桨的反驱动而起动成功，航行者号得以到达目标。熄火的原因是因为长时间飞行燃油管里积满了沉积物的缘故。

航行者号给人的第一印象是形状怪异。仔细看，为了减少引导（机翼端部产生的涡流阻力）阻力，将机翼作得修长，为支撑细长的机翼，采取兼作燃油箱的双机身式，并且由于设计成先尾翼，所以机身长度缩短了，减轻了重量和表面阻力。为了实现最终目的，这是一个经过反复考虑的周密设计。

设计人员作任何设计时，都要再三考虑，此乃是设计师的使命。设计单凭兴趣是不行的。经过苦其心志，劳其筋骨后，完成

使命的喜悦方称得上人生最大的欢愉。航行者号和更久远的航研机号，那些富有使命感的技术人员把这种欢愉带给了我们。

油箱里有油，断然决定着陆

然而，航研机打破世界纪录后，油箱里还剩有能绕三圈的燃油，便在木更津机场降落了。当该机在一片欢呼声中着陆时，空气冷却阀用的罗茨鼓风机（参照照片 A35 - 1）咯嗒咯嗒作响。因为不知道损伤到什么程度，不便草率地推测。不过，如果鼓风机的叶片损伤严重，那么磨损的粉末会进入排气阀，造成发动机损伤。

即使罗茨鼓风机出了故障，从小旋塞上也看不出来。是借助著名驾驶员藤田雄藏少校（后来升为中校）的直感？还是同机的工程师关根近吉或者副驾驶员高桥福次郎等人觉察到细微的征候了？或者在排气温度等方面出现了变化？一切都无从得知。

但是，在三天的连续飞行后，多亏这一正确的判断及时着陆，才创造了日本独一无二的航空世界纪录。

开发以及做其它事情也是一样，在即将完成之际容易松劲，功败垂成。做任何事情都需要有即使筋疲力尽，也坚持到底的毅力。

附录 A35　航研机的稀薄燃烧

装用在轿车等上的汽油发动机，今天的最大课题是在不增加排气成分的条件下，如何降低油耗，也就是减少 CO_2 排放量。

如果是相对于同一吸入空气量，减少燃油，即使之变成稀薄混合气，那么油耗和 NO_X 都如图 A35 - 1 所示地减少。然而，阻挠这种稀薄燃烧的敌人是使燃烧变得粗暴。当发动机的扭矩（输出功率）增加时，汽车就不能平顺的行驶。象前面提及的 HMMS 那样，应适当地使缸内吸入的空气形成紊流，燃烧就能平顺地在短时间内完成；为了将最大限度的稀薄混合气均匀地分配到各缸，可利用混合比传感器，适当地控制空气量与燃油供给量，以此作为

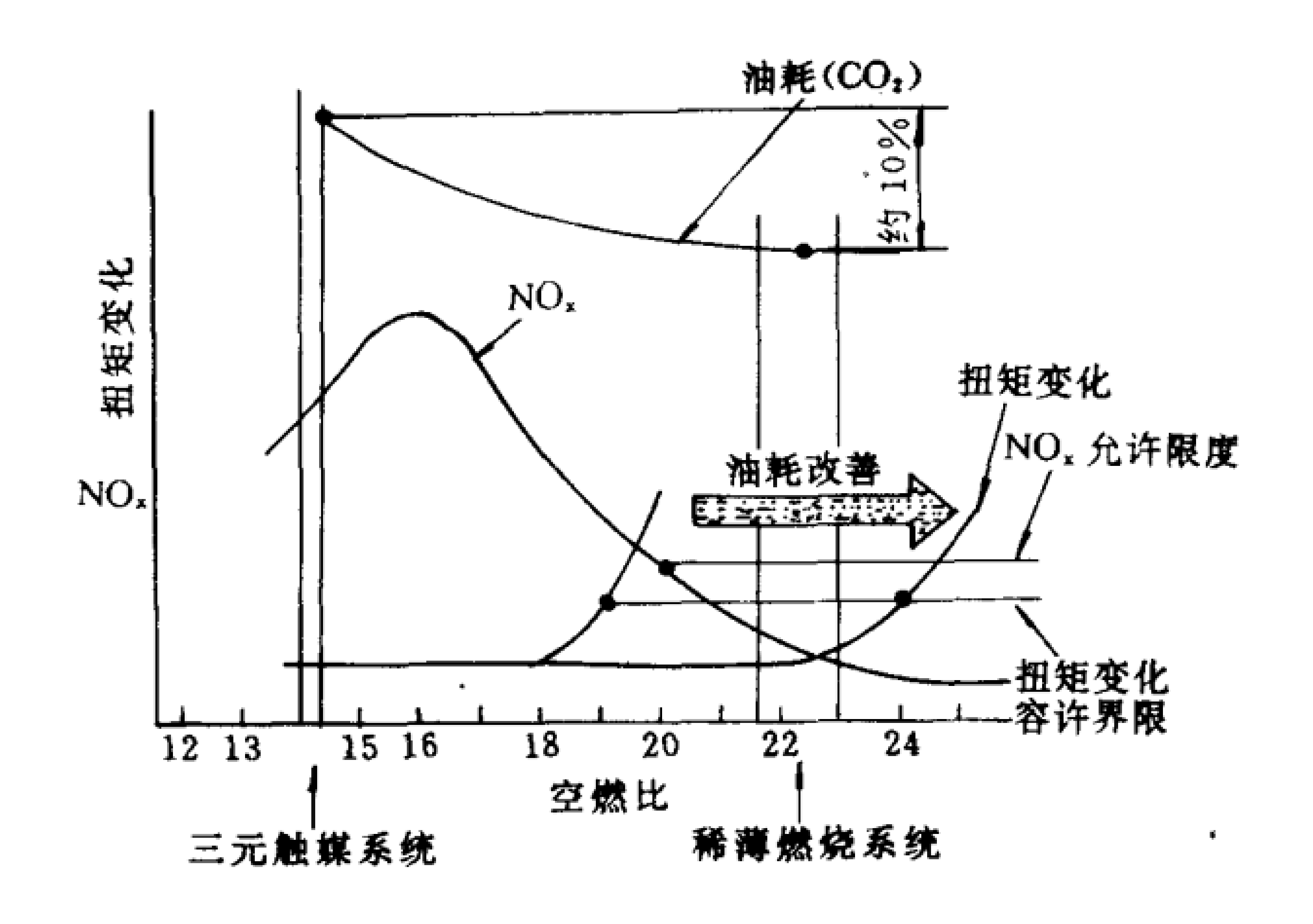
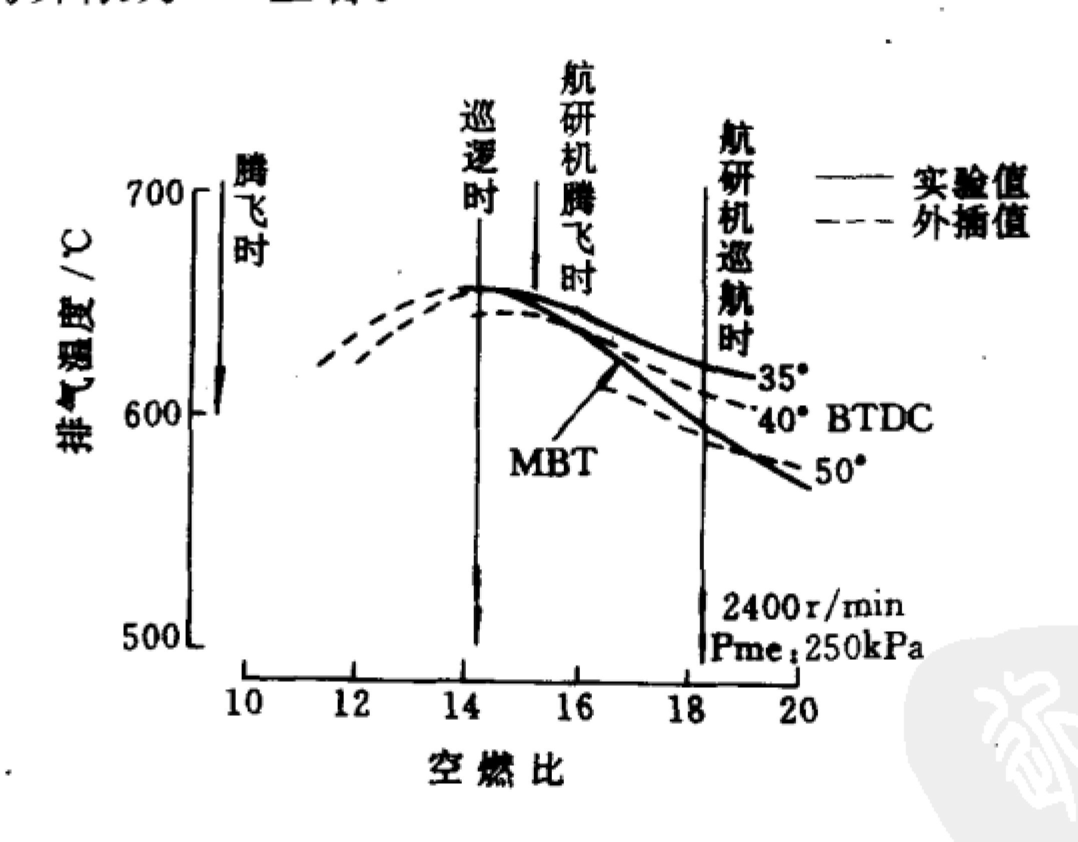


图 A35 - 1　稀薄燃烧系统

解决措施。今天，轿车厂家都认真地推出了自己的招数。实用的混合比的界限为 22 左右。

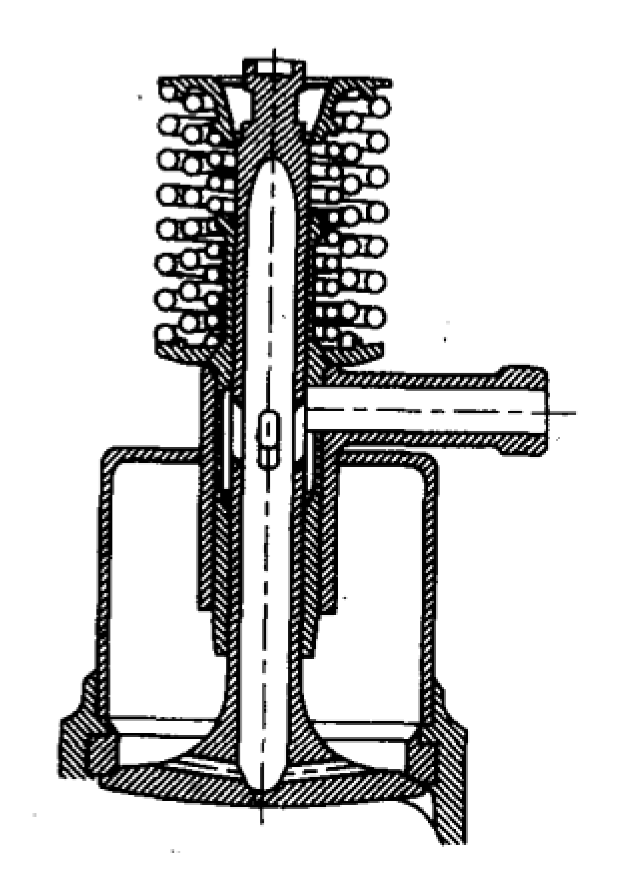


图A35 - 2　推测航研机在高陆腾飞时的排气温度比通常高得多。基础数据取自里卡多研究所的单缸数据（全负荷）。空燃比位置仅供参考，不是实际数据。另外，巡航时是部分负荷工作，故排气温度很低

然而，如果混合气稀薄，那么燃烧变化就会增加，燃烧温度

和速度都会下降。因而，在排气过程中，未燃烧完的排气被排出去了，所以一般认为排气温度会上升，可实际上如图 A35 - 2 所示，是下降了。

燃烧变化的问题与航研机的情况完全一样，使研究人员挠头，能够实用的空燃比大约为 19。那么，要降低排气温度为什么需要空气冷却阀呢？(参考图 A35 - 3)。因此，我们有必要了解一下当时的航空发动机的状况。当时航空发动机的空燃比，上升时乃至最大输出功率时约为 8～10，即使巡航时（等速行驶）也不过 12～13。空气与燃油完全反应的混合比即理论混合比约为 14.8，故过浓。由于这个缘故，人们非常担心由于燃烧室壁等部分的过热诱发敲缸和排气阀等的损坏，企图获得过剩燃油的冷却效果。

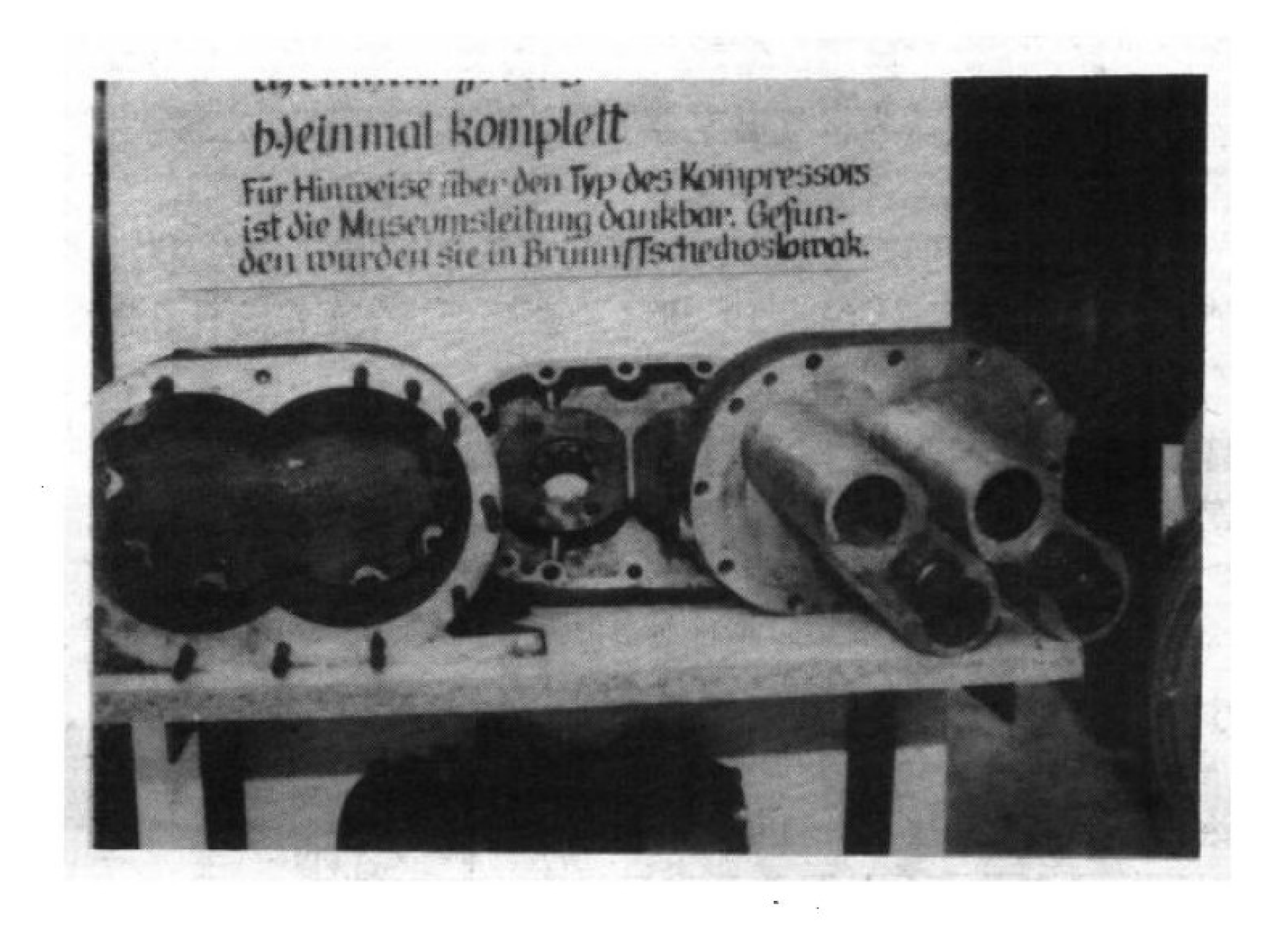


图A35 - 3　举世无双的空气冷却阀。为什么没有作成封入钠的简易形阀呢？

航研机的情形也是在腾飞，即全力运转时的混合比约为 13.5，稍许过浓。尽最大量装满燃油的飞机离陆上升时间不会短，因此必须安全地摆脱这种极限状况。这种条件与一般的飞机的最大输出功率时的混合比 8～10 相比，还是相当稀薄的。因而从图 A35 - 2 可以理解排气温度升高，阀门需要冷却的原因了。当时的纪录表明，通过冷却阀也减少了燃烧变化，实用混合比因此可从 16 左右达至 19 左右。

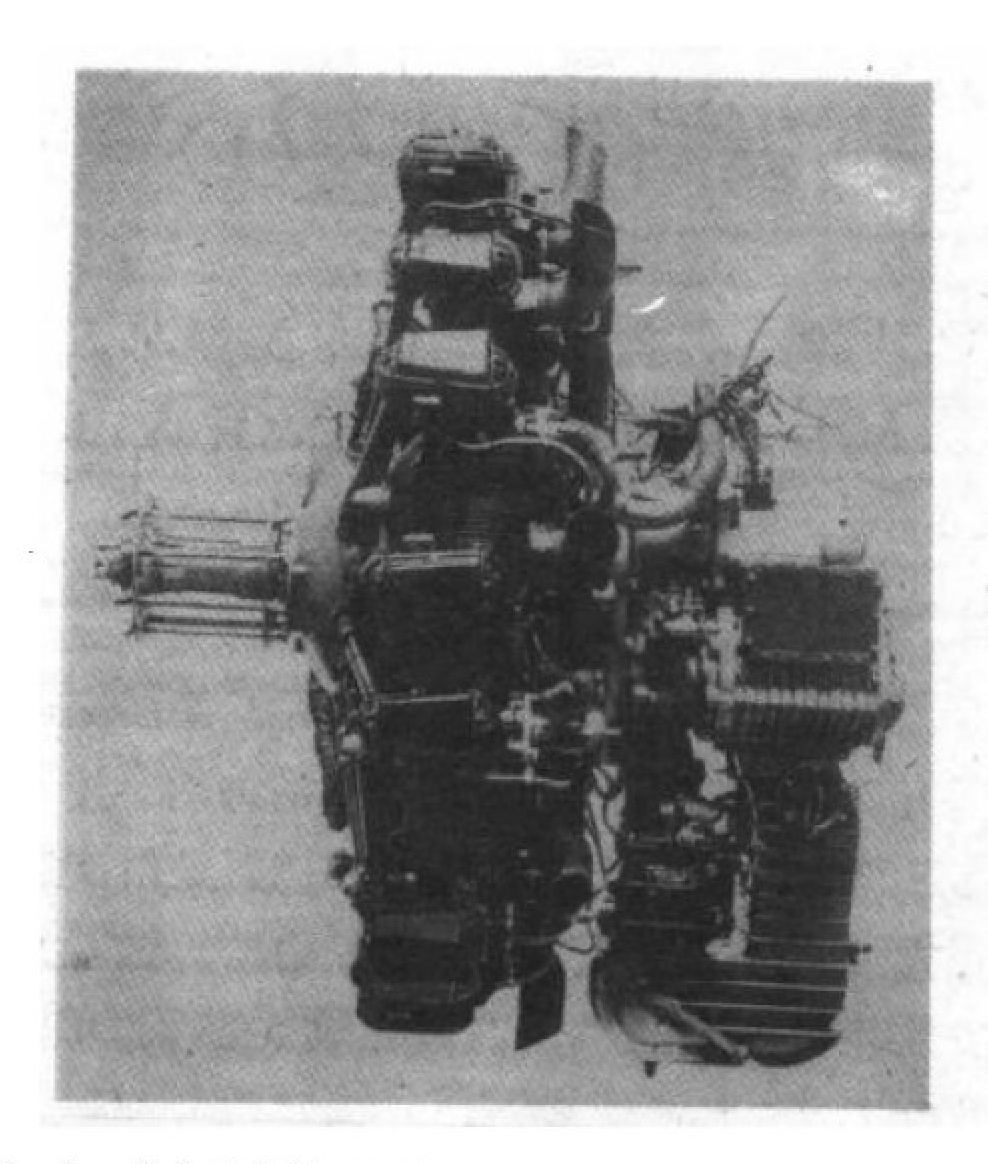
在稀薄混合比的情况下，既受残留气体的影响，燃烧速度又慢，因此燃烧条件差异有很大影响，推测会发生燃烧变动。但估计把构成部分燃烧室壁的阀部温度降下来，其条件会变好的。通过一系列的周密试验，确定阀门冷却用的空气量，一个为 3.7g/s。

然而，冷却阀当时用的罗茨鼓风机（参考照片 A35 - 1），使

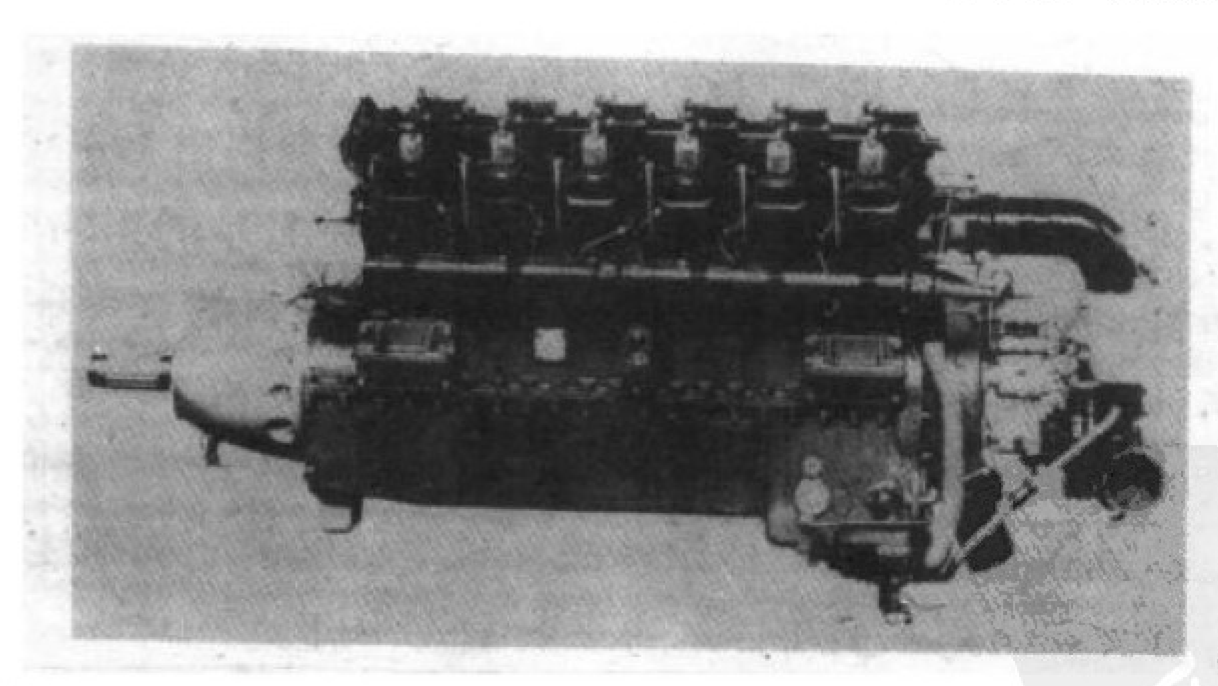


照片A35－1　分解了的罗茨鼓风机（汽车与技术博物馆）。右侧为双叶转子，为摆线齿形的一种空气泵；左侧是它的壳体，空气从上边进入，由于转子回转压缩空气，然后排到相反侧。保罗·戴姆勒于1917～1918年间首次把它用在航空发动机上。罗茨为发明人F·M和P·H罗茨兄弟的名字

用了东京瓦斯电气公司为该公司的天风发动机作研究的鼓风机。照片A35－2为当时正在研究的天风发动机；照片A35－3为装有罗茨鼓风机的航研机用发动机。利用航空发动机上的罗茨鼓风机进行增压研究，当时在世界上是首例，敢于向前人未做过的事情进行挑战的精神令人钦佩。



照片A35 - 2　装有罗茨鼓风机的天风 R 型。发动机后端装有 2 台，从照片上看只能看见前面的一台。460hp/2190r · min^{-1}（粟野诚一教授提供）



照片A35 - 3　装有空气冷却阀用罗茨鼓风机的航空发动机——川崎 BMW－9 改进型，700hp。罗茨鼓风机安装在发动机后端，2 个黑孔为吸气口（粟野诚一教授提供）

36. 戴姆勒·本茨DB601发动机之谜（1）

滚油轴承与戴娜·庞阿尔发动机。把技术的主流和奇特设计分清后再加以评价。

命运的对垒

1931年1月，戴姆勒·本茨公司接到了德国交通部下达的开发800～900hp、V12缸水冷航空发动机的命令。按照凡尔赛条约禁止搞军备生产的德国，不是由空军部，而是由交通部秘密地订购，该航空发动机就这样悄然地开始了胎动。这就是在二战中装在德国主力战斗机上咤叱风云的戴姆勒·本茨DB601系列发动机的怀胎通告。

该发动机为倒置V12型水冷发动机，1935年带化油器的DB600型问世，后来又改为汽油直接喷射式发动机。1937年在德国发表重新军备宣言的同时，把该机装在了梅萨休米特109型战斗机上，并在瑞士国际航空博览会上八面威风地展出（图36-1）。

不久，二战爆发，意大利的菲亚特公司、日本的川崎航空机公司和爱知航空机公司都分别进行了本茨发动机的许可证生产，该发动机被装用于轴心国方面的主力机上，与劲敌——第一次世界大战以来联合国方面的罗尔斯·罗依斯发动机争雄。戴姆勒·本茨发动机除了装在梅萨休米特战斗机等德国的主力机上以外，还用于意大利的麦基型和日本的飞燕型战斗机上了。

而罗尔斯·罗依斯·玛琳发动机除了装在英国的喷火型战斗机上以外，如前所述，在美国的帕卡德公司进行了许可证生产，生产的发动机装在美国P51战斗机上。一战中仿制本茨产品发展起来的罗尔斯·罗依斯与重振雄风的本茨展开了你死我活的较量

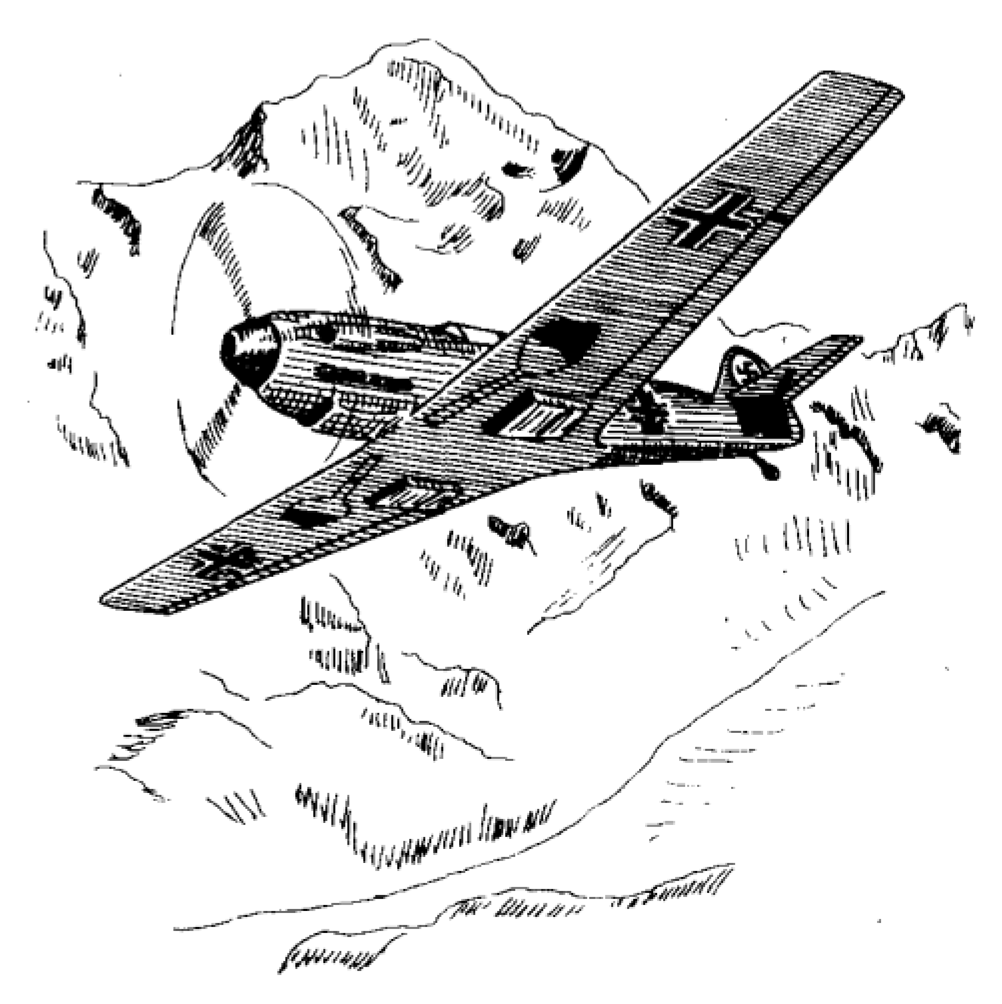


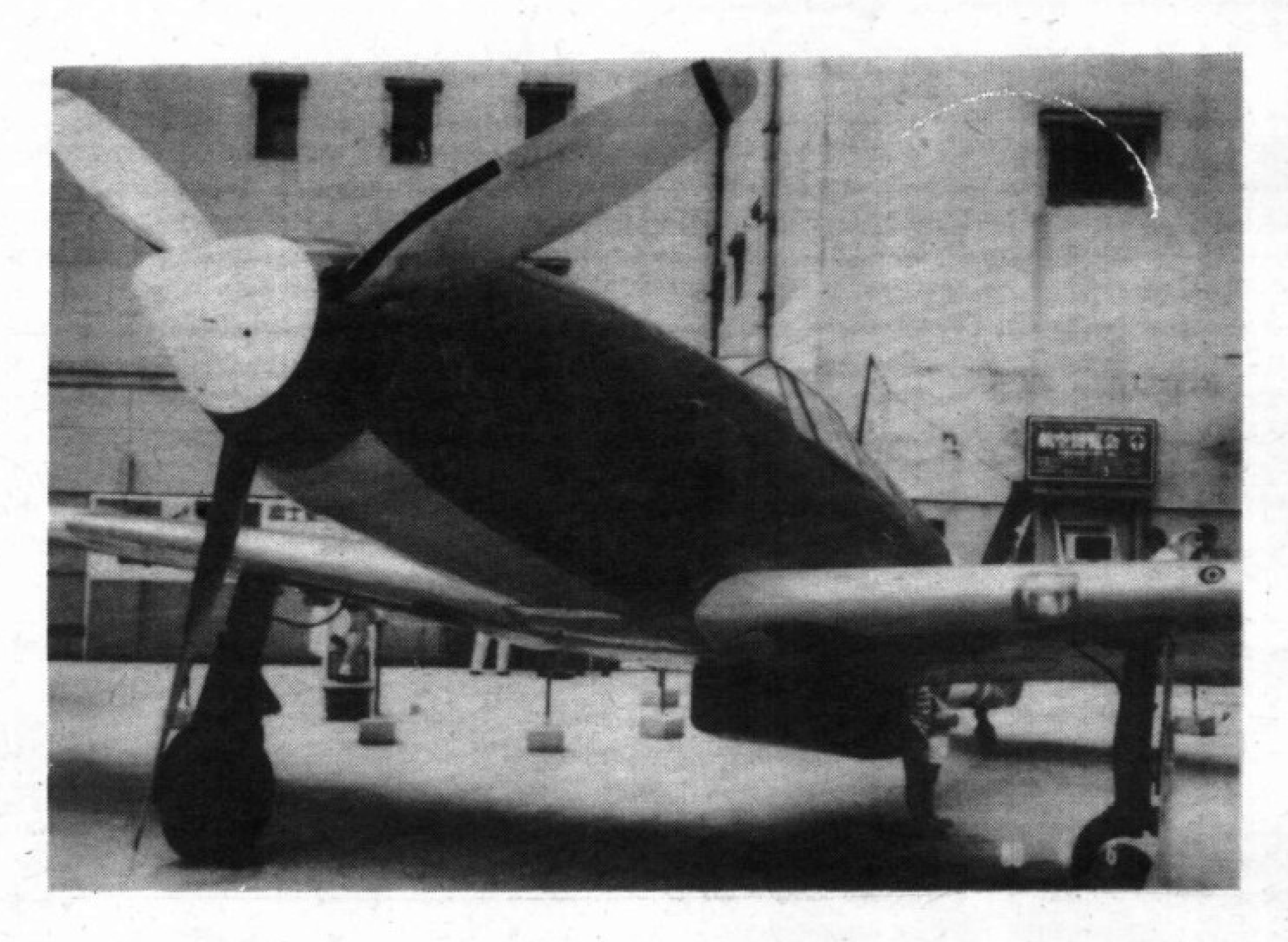
图36-1　在绕阿尔卑斯山一周的竞赛中，独占鳌头的 Me109V13 战斗机。1937 年瑞士国际航空博览会上，Me109 除了展出了装用的本茨发动机以外，还有永卡斯·尤毛等几种。在绕阿尔卑斯山一周的竞赛中，Me109V13 囊括了旋回、上下翻腾等所有项目的冠军，有的国家有自知之名弃权了。总之，DB600 发动机出尽了风头（驾驶员是福兰凯）

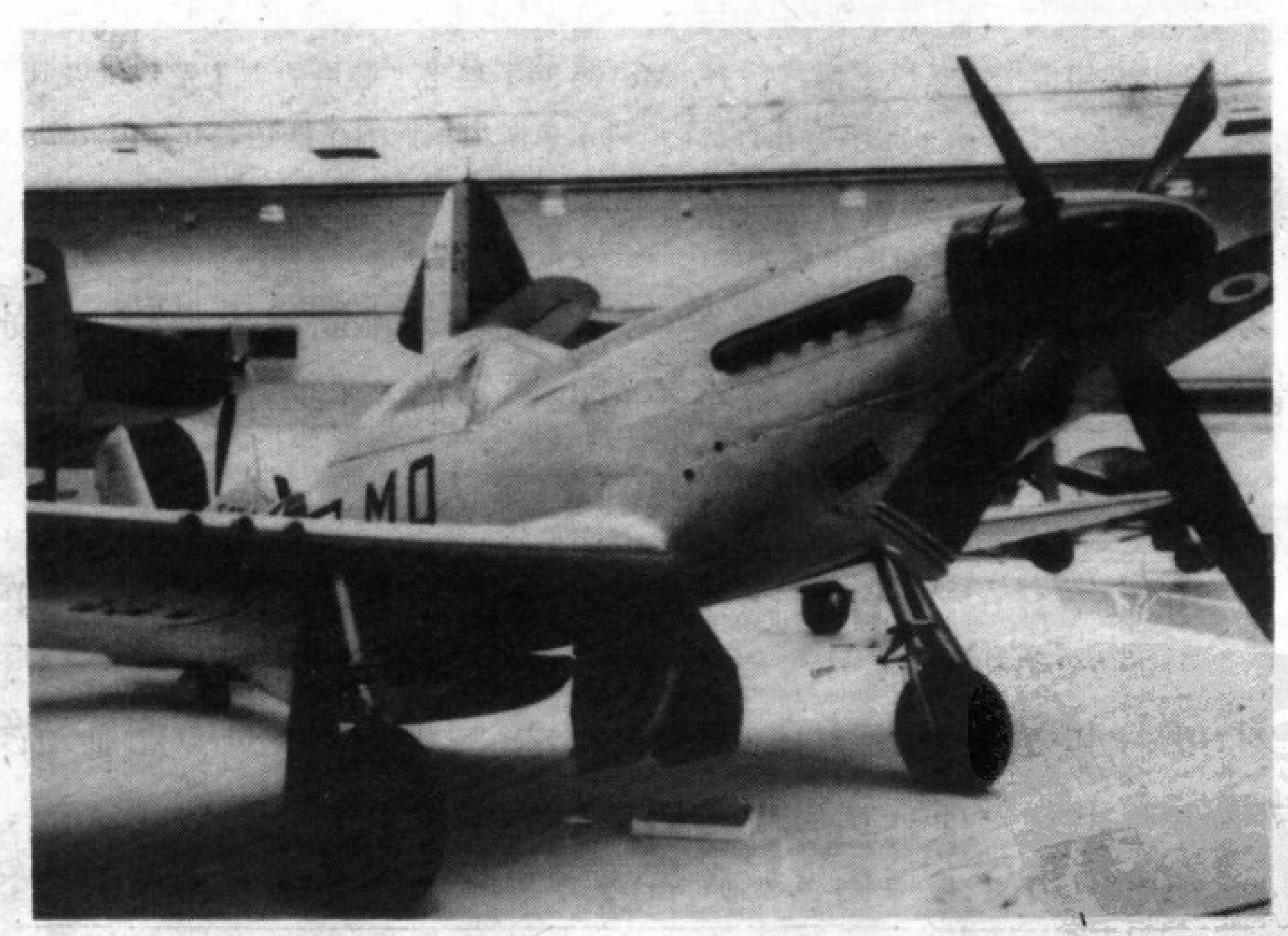
（参照第 21 章）。然而，本茨发动机在日本却不断发生故障，特别是要将功率提高到 145hp 根本不可能，最后不得不停产。

被改头换面的美人

1945 年春，中学生的我在被动员去劳动的工厂里听到一则消息：川崎发动机厂被 B29 轰炸机给炸了，无头的飞机停在厂里（图 36-2）。战后真相大白，原来被 B29 轰炸后，不是不能制造发动机了，主要是曲轴轴承损伤而无法继续生产了。

在中国历史上与杨贵妃齐名的美女赵飞燕，传说是位体态轻盈的美人。不知是谁为装有水冷发动机、造型美观的战斗机取了飞燕这个名字，或许联想到古代的这位美人了吧。但是，美人的小巧可爱的头却无情地被换成了空冷发动机，去战场上应急。不





照片36－1　（上）川崎航空机公司进行许可证生产戴姆勒·本茨飞燕型战斗机；（下）帕卡德公司进行许可证生产的罗尔斯·罗依斯的P51型战斗机

过，改头换面后的5式战斗机虽然最高速度降低了，但上升力和空战性能却提高了，成为杰出的战斗机。

发动机轴承之谜

为什么发动机的轴承部分损坏了呢？对此，我一直有疑问，但没有机会了解。一个偶然的机会，我看了富塚清教授对内燃机使用滚动轴承持否定态度的有关论文。教授列举了ABC（All British Engine Company，全英发动机公司）星型空冷发动机（参照第25章）和本茨BD600系列发动机的实例，指出它们失败的原因在于滚动轴承使用不当。

当时，我对滚动轴承还抱有朦胧的憧憬，是因为在设计康特萨900发动机时，对戴娜·庞阿尔（法国轿车）的崭新设计思想以及其发动机采用的构思巧妙的滚动轴承具有难以磨灭的深刻印象的缘故（照片36-2、36-3）。

64年型庞阿尔车装有850mL、60hp的发动机。车长约4.6m，重850kg。而当时的“丰田之花”牌轿车的发动机为1500mL，62hp；车长约4m，重1000kg。相比之下，庞阿尔的结构有多么先进。1953年以后庞阿尔在勒芒24小时赛车中多次夺魁，一台850mL的小型发动机可发出60hp的一个秘诀就在于其独特的滚柱轴承的设计。如图36-3所示，轴转动，轴承的滚柱就转动。为了使相邻的滚柱间无摩擦，转动方便，滚柱与滚柱间再压入小滚柱（参考附录A36）。

技术与企业一体

当时，日本为了学习国外的先进汽车技术，决定购买几种外国车以作参考，进行研究。日本汽车技术协会设立了动力性能研究委员会，收集有关发动机方面的意见。出席会议的我马上推荐了戴娜·庞阿尔，并向各委员说明了推荐的理由，得到大家的赞同。然而，上级机关却把我的提案否掉了，听说主要是梅原半次反对。

照片36－2　戴娜·庞阿尔先导研究车的背影。该车是1944年设计、1948年完成的。1953年结出硕果，成为明星发动机（水平方向2缸、空冷30hp）（巴黎国立工艺博物馆）



图36－2　在劳动现场，听到了无首飞燕的传闻



照片36－3　戴娜·庞阿尔。轻盈的车身，流线型，在现代也不过时。我看到了在标准汽车展上争雄的一台

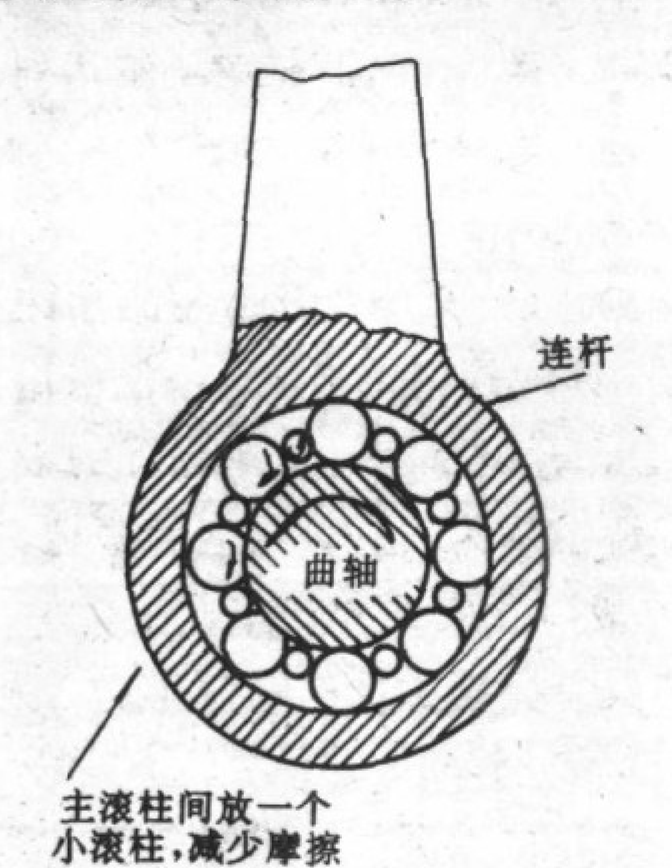


图 36－3　戴娜·庞阿尔发动机的曲轴轴承（滚柱部分夸张地绘出）

技术与企业是一体的。一个企业成长历史要求有与该企业特

点相适应的技术。例如，重点放在销售和售后服务而成长起来的企业和服务无术的企业相比，其各自的产品特点必定不同。而且，技术的本质，归根结底必须追求平均值。平时应注意培养对一个杰出产品是先进的还是奇特的判断能力。后来我听说，梅原半次说："不要买这种奇特的东西。"年青的我过了许久，才理解了梅原半次的技术洞察力而由衷的敬佩。不久，戴娜·庞阿尔公司便被雪铁龙公司兼并，就这样连同我所爱慕的车一起消失了。现在，它的名字已鲜为人知。

那么，问题是，DB601 曲轴轴承的设计到底怎样？是奇特的设计？是失败的设计？请容下章记述。

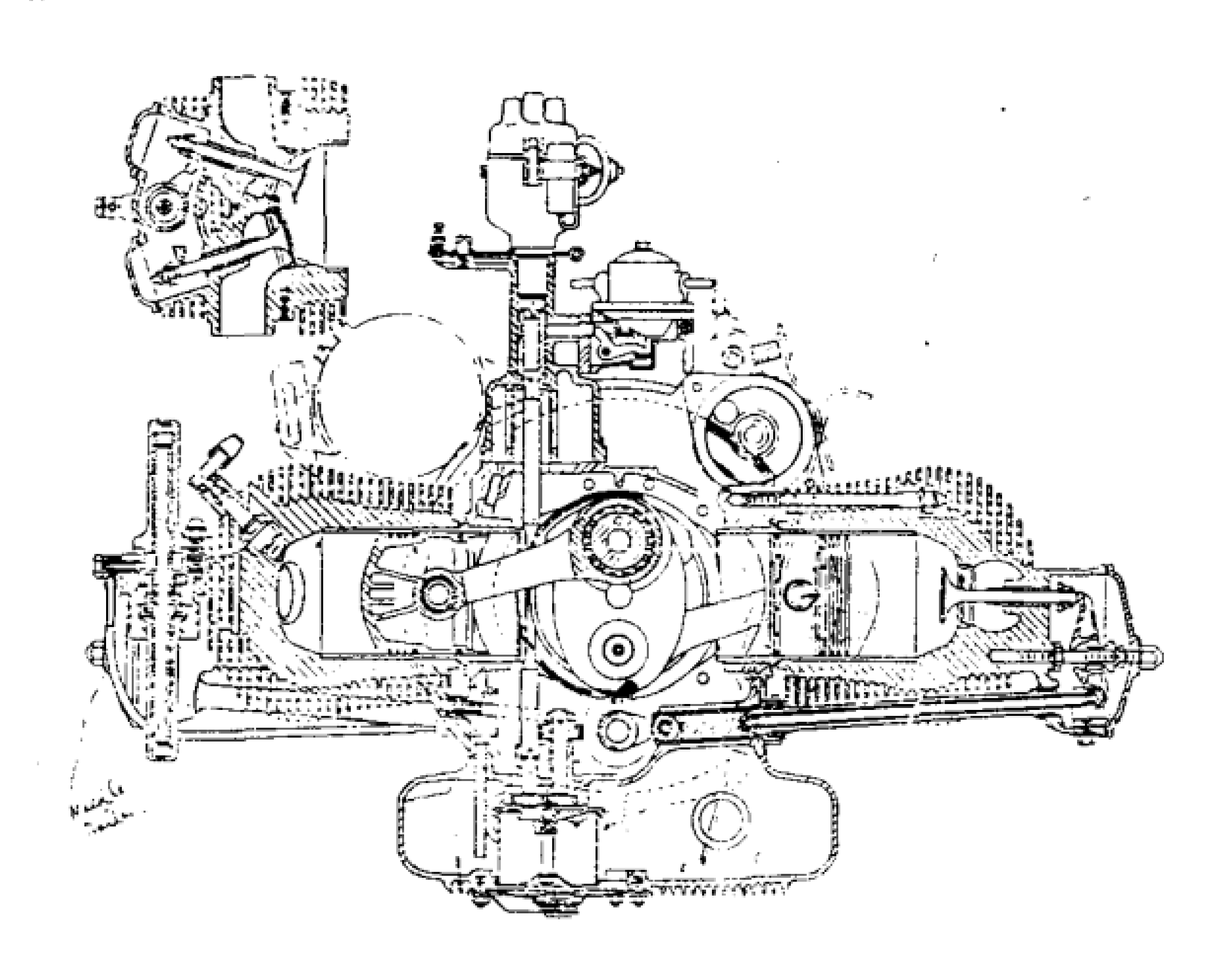
附录 A36　戴娜·庞阿尔发动机

1895 年在往返于巴黎—波尔多之间的历史上第一次高速赛车竞技会上，装有戴姆勒发动机的别儒车夺魁。实际上却是庞阿尔·列瓦苏尔车第一个到达终点的。但因为比赛规定要用四座车，而庞阿尔只有两座，不得不把桂冠拱手让人了。不过后来，庞阿尔公司获得了许多泛欧之荣光。但是在庞阿尔和列瓦苏尔过世后，该公司由于一意孤行地只搞高级车，逐渐被开发大众车的其它公司抛在后边了。

以二战结束为契机，该公司将起死回生的赌注押在新型车上，即把戴娜投放市场。设计师是格雷格厄尔。他采用了 FF 方式（前置发动机、前轮驱动），开发了空冷水平对置的 600mL、28hp 的发动机。该车经过戴娜维尔的改进，易名为戴娜·庞阿尔。发动机为 850mL、42hp，最后发展到 60hp。

戴娜·庞阿尔车具有极富激情的铝制车身，发动机也与众不同，除了上述提及的独特的连杆、轴承外，连挺杆都是铝制件。利用液压进行气门罩间隙的自动调整，进排气门共用一根扭力杆的气门弹簧，扭力杆的滑动部分采用滚针轴承等，简直是集各种设想于一体的发动机（图 A36 - 1）。作为技术人员接触到这样的设

计，谁能不为之感动呢？



图A36－1　戴娜·庞阿尔的发动机。缸径85mm、行程75mm、851mL、42hp/5000r·min^{-1}（1958年），后来提高到60hp

但是，往往感情与商品是两码事。戴娜·庞阿尔公司后来被雪铁龙公司所吞并，这种奇异的发动机不久也消声匿迹了。

37. 戴姆勒·本茨 DB 601 发动机之谜（2）

加工精度是保证产品功能的必要条件，但不是全部。

原点乃空白点也

1967 年日本首次正式生产直喷式柴油机的厂家：一家是日野汽车工业公司，一家是五十铃汽车工业公司。不过，日野开发的目的是追求大功率，而五十铃是为了降低油耗。两家虽然都起到了先驱作用，但均未成功，不久便搁浅了（参考附录 A37）

日野的直喷式发动机 EA 100 型因缺乏经验而出现了一些故障。其中之一就是凸轮的从动件的早期磨损。所谓的凸轮从动件就是开闭发动机进排气门的那一部分机构。

该发动机采用了一种称作滚柱、挺杆式的滚动轴承（图 37 - 1）。轴承销用几十个小时就磨损了。当然，我们运用故障分析法，尝试着对所有的因素都进行了分析。

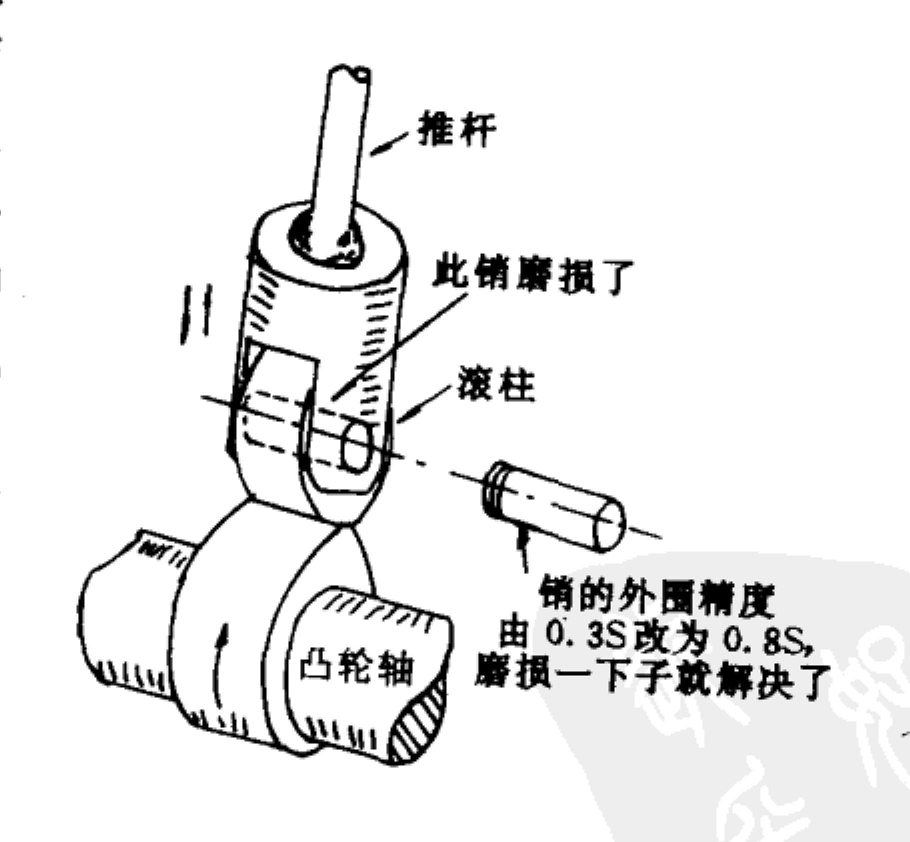


图37 - 1　滚柱轴承的磨损是由于加工精度问题造成的

当然，首先怀疑材质选择不当，试用了各种材料和热处理工

艺，还变换了供润滑油槽的形状和大小等。但无论怎样改动，磨损问题丝毫未得解决。接着又怀疑到装配方法不当等等。

在长达几个月的尝试和探索过程中，终于豁然开朗。原来是构成从动件中心轴的销子的外周加工精度不良所致。

现实中往往把理所当然的事情忽视了。技术领域更要求人们回到原点思索。问题很简单，就是把从动件的外周表面粗糙度从原来的 3 S（不平度约为 0.003mm）研磨提高到 0.8S（不平度约为 0.0008mm），故障奇迹般地消失了。

我不由得想起我在战争末期读过的成濑政男教授的著作，真是受益匪浅。如图 37 - 2 所示，当时日本制造的滚珠轴承的钢球精度要比欧洲 SKF 公司制的至少低 10 倍。我曾暗自思忖：本茨发动机之所以在日本没能制造出来，恐怕是由于国产轴承精度和曲轴精度都拙劣的缘故吧。但这在当初归根结底只是推测而已。

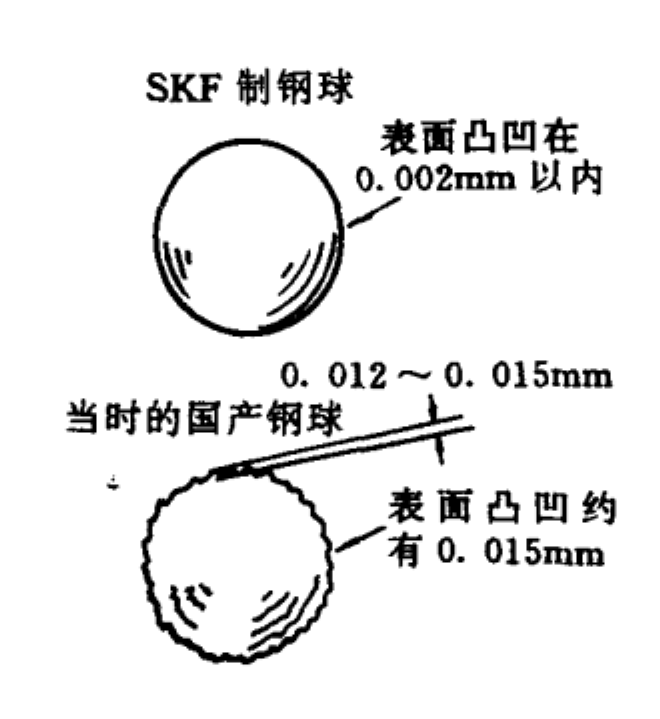


图37 - 2　1940 年前后滚珠轴承的钢球精度比较（以成濑的《科学技术之母胎》的内容为素材绘制的）

在欧洲得到的证词

1969 年，解决 EA100 型发动机问题的工作终于告一段落。这时，我奉命飞往欧洲，进行直喷式发动机的学习。趁此机会，我带着许久以来的疑问拜访了两个人。

一位是罗金多尔夫先生，他在戴姆勒·本茨公司自始至终地参加了从 DB600 型到 DB610 型的开发（见 17 章）。他说，滚柱轴承的确在初期发生过故障。但在改变硬度管理后，就没有发生过任何故障。而 DB603 型以后，高功率化后的问题出在缸套变形上，

常常引发活塞烧蚀。

但是“这也说不准。因为当时动员了大批敌对国的俘虏去做工，他们常常往发动机里面加砂子，往往造成故障”。罗金多尔夫补充说。据说为了增加功率，把缸径加大到 150mm，缸套厚度相应地加厚到 2.7mm，加上高达 1.42kg/cm 的增压压力，相对于如此的大功率实际上已到了极限。

日后，我又征求了奥地利 AVL 研究所夏特莱博士的看法。博士认为故障并不是因使用滚柱轴承造成的。大体上单位排量的功率提高到 28hp/L 本身就很勉强，一般来讲可靠性肯定要下降（照片 37 - 1）。



照片37 - 1　在奥地利 AVL 研究所拜访夏特莱博士。右边第二人为博士。博士说，DB600 系列发动机的故障并不在于滚柱轴承

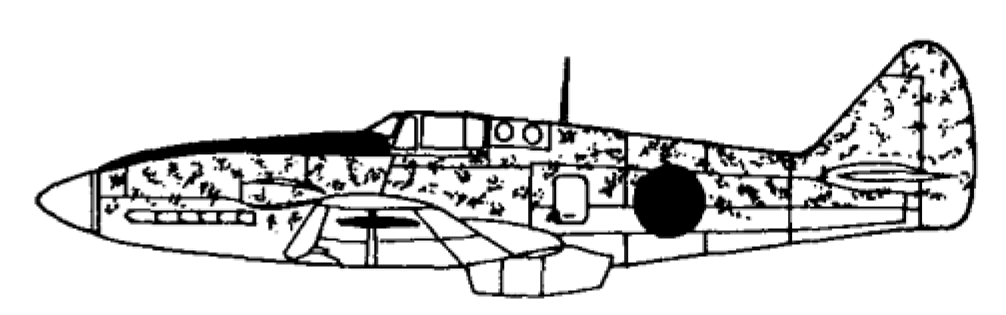
无论哪一种见解都没有说是滚柱轴承本身引起故障的。

不适之说得到了证明？

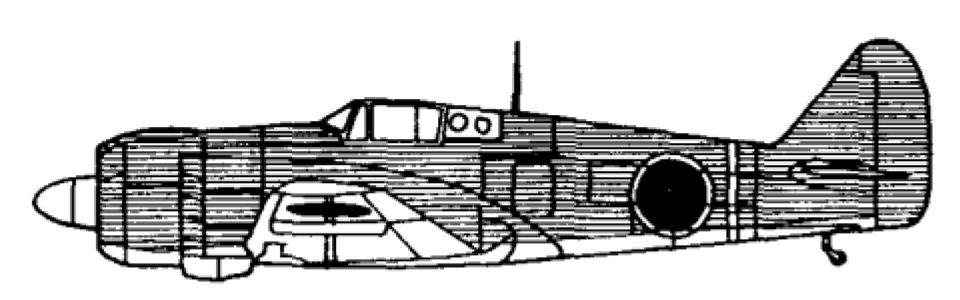
一方面，作为证明滚柱轴承不适之说的一个信息，就是战时日本人正为轴承烧蚀而一愁莫展时，从德国送来的设计文件中，有将滚柱轴承改为普通轴承的处理意见。改动的理由虽然无法推测，

不过，我想与下面的事情不无关系吧。

即，1943 年 8 月 17 日、10 月 14 日和翌年的 2 月 24 日，休拜因福尔特滚珠轴承厂三次遭受美国飞机轰炸，是不是因为滚柱轴承供货困难而改为普通轴承的？（这纯属主观推测，后来从霍夫曼先生那里看到一封信，才知道是因为产量增加，本茨公司生产轴承架的设备能力不足，才改为普通轴承的，参考附录 A38 - 3）。



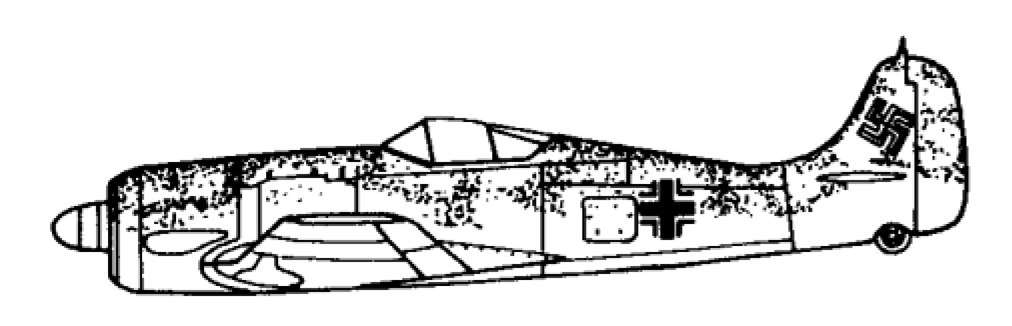
1943 年 基 61 Ⅱ 改型
哈 140 液冷倒立 V 型 1450hp
610km/h



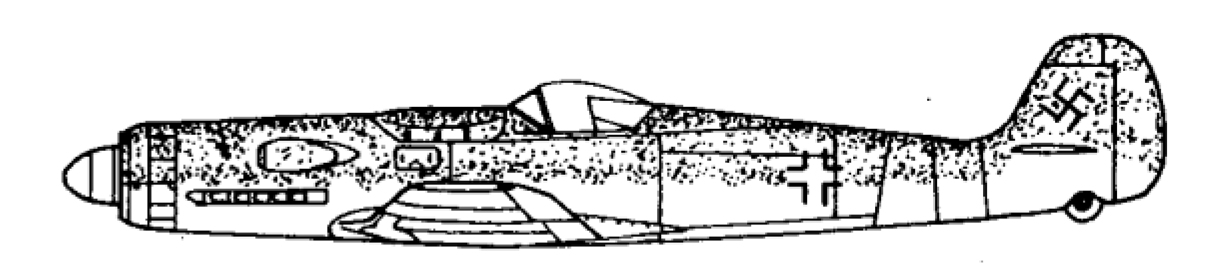
1945 年 基 100 Ⅰ 型
哈 112 Ⅱ 空冷星行型 1500hp
508km/h

图37 - 3 日本将体形匀称的美人变成了妖女
（日本将水冷倒置 V 型发动机改成空冷星型）

另一方面，德国的有代表性的战斗机——福凯·乌尔夫 FW190，为了提高性能，将空冷发动机换成 DB603 型发动机，投放战场（除了本茨发动机以外，水冷、倒置 V 型的永卡斯·尤毛发动机也被选用，按系列名称加以区别）。德国把在日本未能生产的 DB601 发动机，进一步加大了马力，作为 DB603 发动机而大量生产（图 37 - 3、37 - 4）。DB600 系列发动机，截止大战结束，总



1940 年 FW190A
BMW801D-2 空冷星行型 1700hp
620km/h



1944 年 TA152C
DB603E 液冷倒立 V 型 1800hp
MW50 带增压器达 2300hp
741km/h

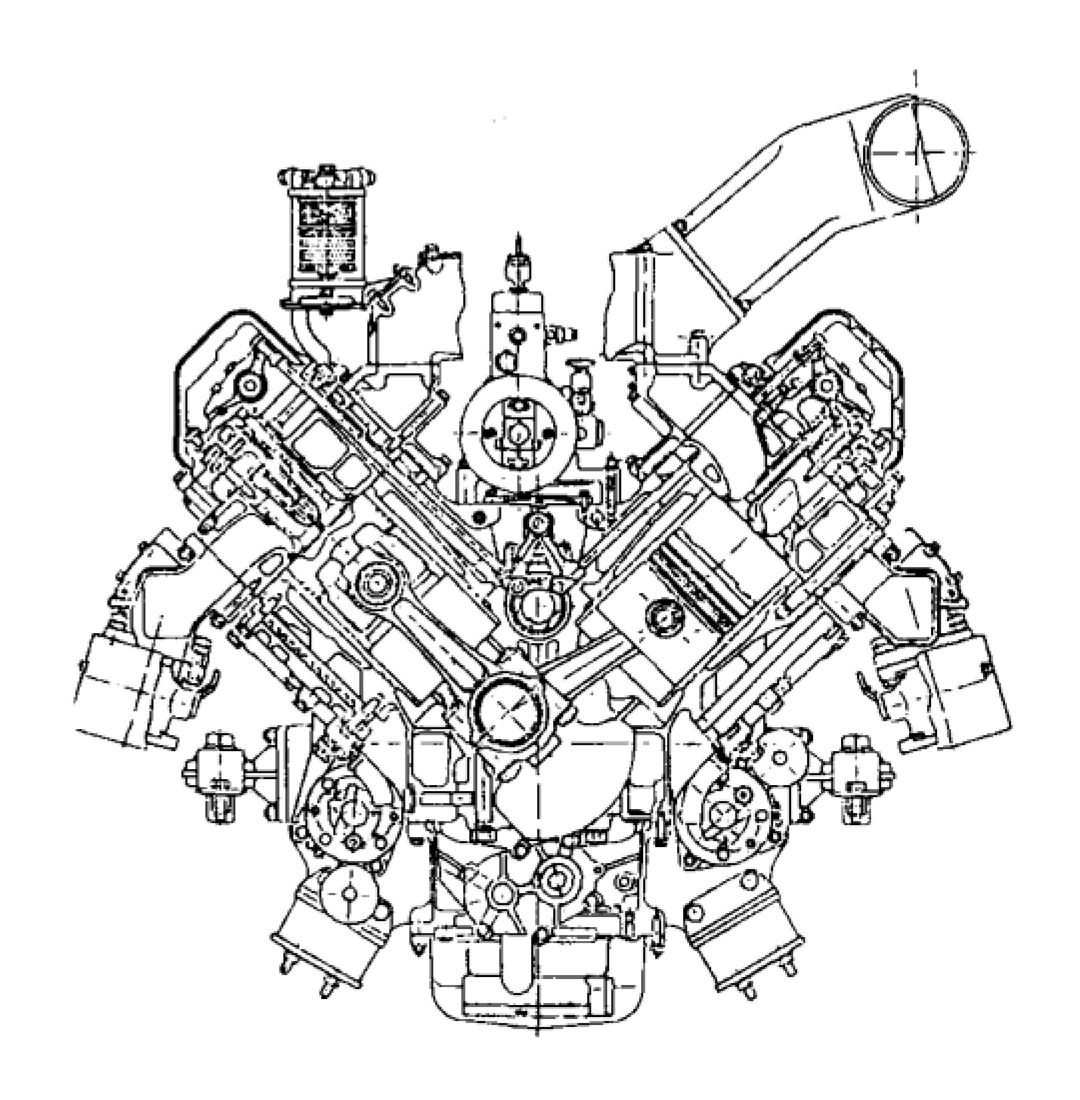
图37-4　德国妖娆的女子减肥（量）后变成体态轻盈的美人（德国把空冷星型改为水冷、倒置 V 型）

计 生产了 7 万 2 千台以上，除了装用在战斗机上以外，还为所有的机种采用，为濒临灭亡的第三帝国大效犬马之劳。

那么，滚动轴承的设计果真导致了可靠性的低下吗？这种疑团越发沉重地压在我心头。

附录 A37　日野 EA100 发动机

日野 EA100 发动机与五十铃 D920 并驾齐驱，成为日本最早的直喷式批量生产的发动机。这是富有朝气的设计：采用了短行程、滚柱、挺杆式的 4 阀，备有双起动器。但因行程过短，基本参数很勉强（缸径 140mm、行程 110mm），燃烧粗暴，生产很短的一段时间，便改型为缸径 130mm，行程 130mm 的 EF100 型（图 A37-1）。



图A37－1　EA100型发动机（1967年）。缸径140mm、行程110mm、13.5L、280hp/2600r·min^{-1}

38. 戴姆勒·本茨DB601发动机之谜（3）

技术希望飞跃，但又切忌飞跃。可要认清技术是该延续，还是应该革新哪！

希特勒盛怒

在一战中风靡一世的回转发动机——格诺姆和罗讷均采用了滚动轴承。不过，这种草创时期的发动机，负荷本来就轻，又是星型排列，负荷条件就更好了，因此其可靠性没有问题（见第27章）。

滚动轴承在汽车上应用，首先是在使用条件苛刻的赛车发动机上崭露头角的。1922年菲亚特公司的维托里奥·耶诺在菲亚特804型发动机设计中首先放弃了耐负荷已达极限的白合金（铅锡合金轴承）而采用了滚动轴承，这对后来所有的发动机设计师都产生了重大影响。该机大获成功，后来作为圣维托·阿尔法·罗密欧系谱名垂青史（参考附录A38-1）。当时的赛车发动机深受菲亚特的影响，大多数采用滚动轴承，吸收这一思想的萨尔姆森、特拉休等著名发动机辈出。

1933年1月掌握政权的希特勒观看了当年举行的德国汽车大赛。等待这位春风得意、就座于贵宾席的大人物的却是德国的惨败。布加特54夺冠，阿尔法·罗密欧获亚军，德国的默谢台斯勉强得了个第6位。希特勒的愤怒溢于颜表，马上下令拨给德国汽车大赛的参赛队45万马克（按当时的价值）补助费，让默谢台斯和阿托尼昂竞相制作赛车（图38-1）。最初默谢台斯开发的

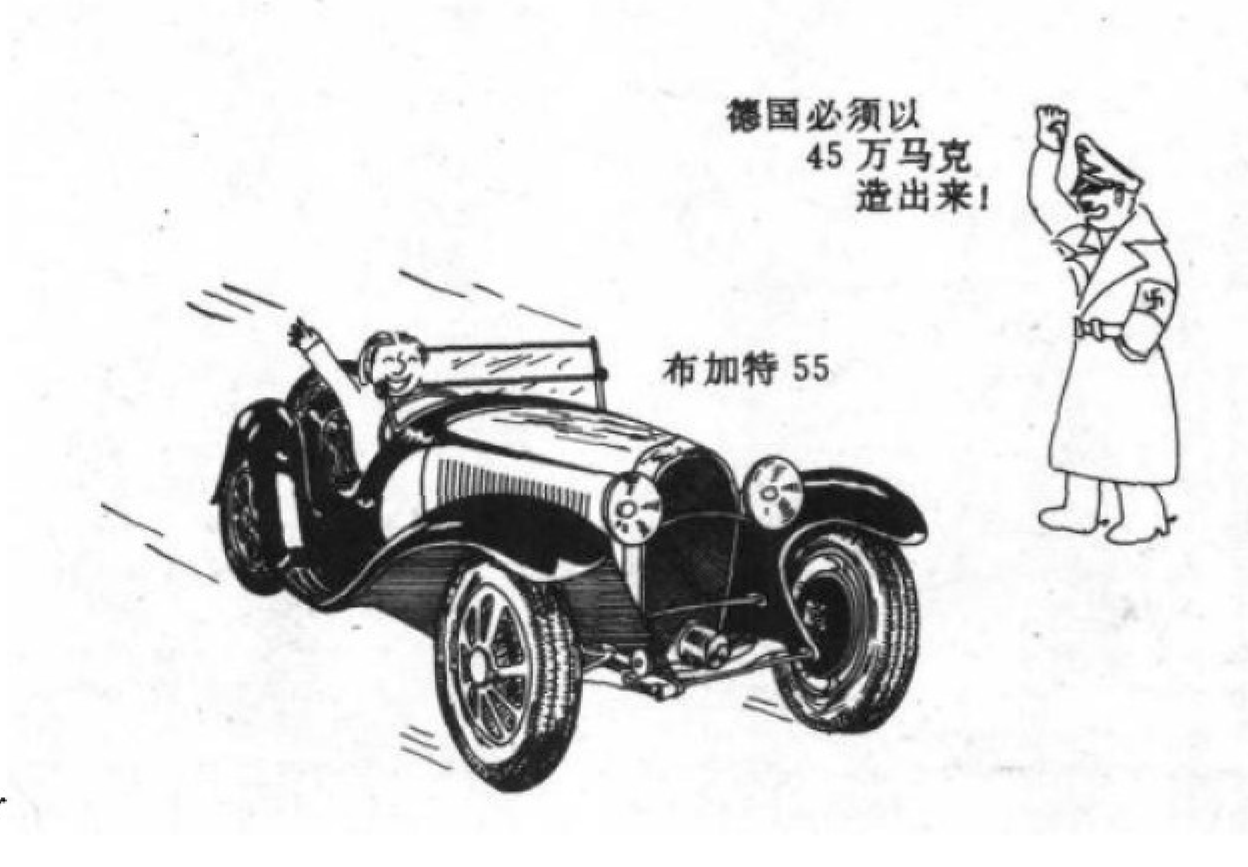


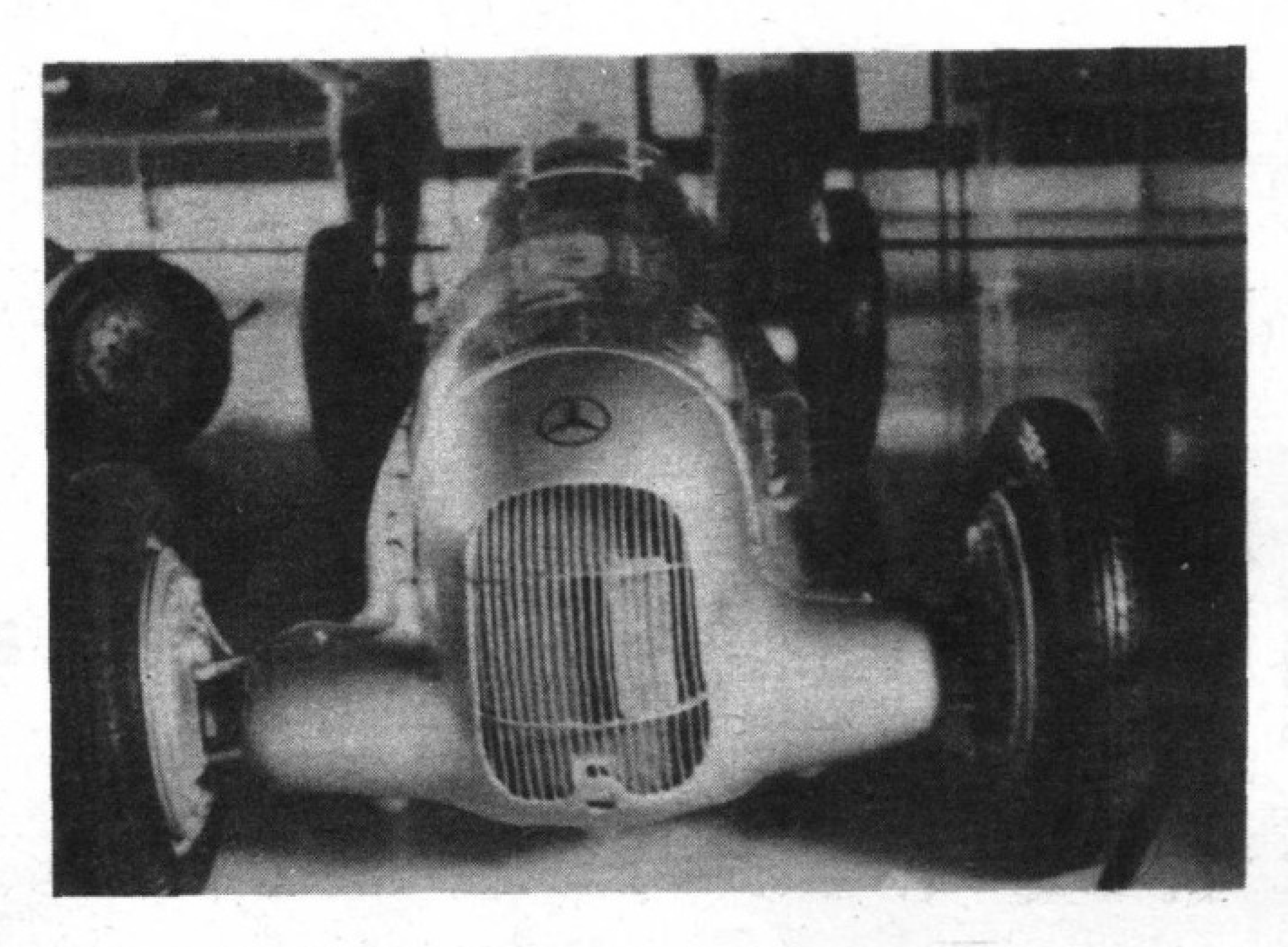
图38－1 1933年的德国汽车大赛中，布加特54大获全胜，被激怒的希特勒拨款45万马克，命令德国队取胜（图为使用了布加特54底盘的55型赛车）

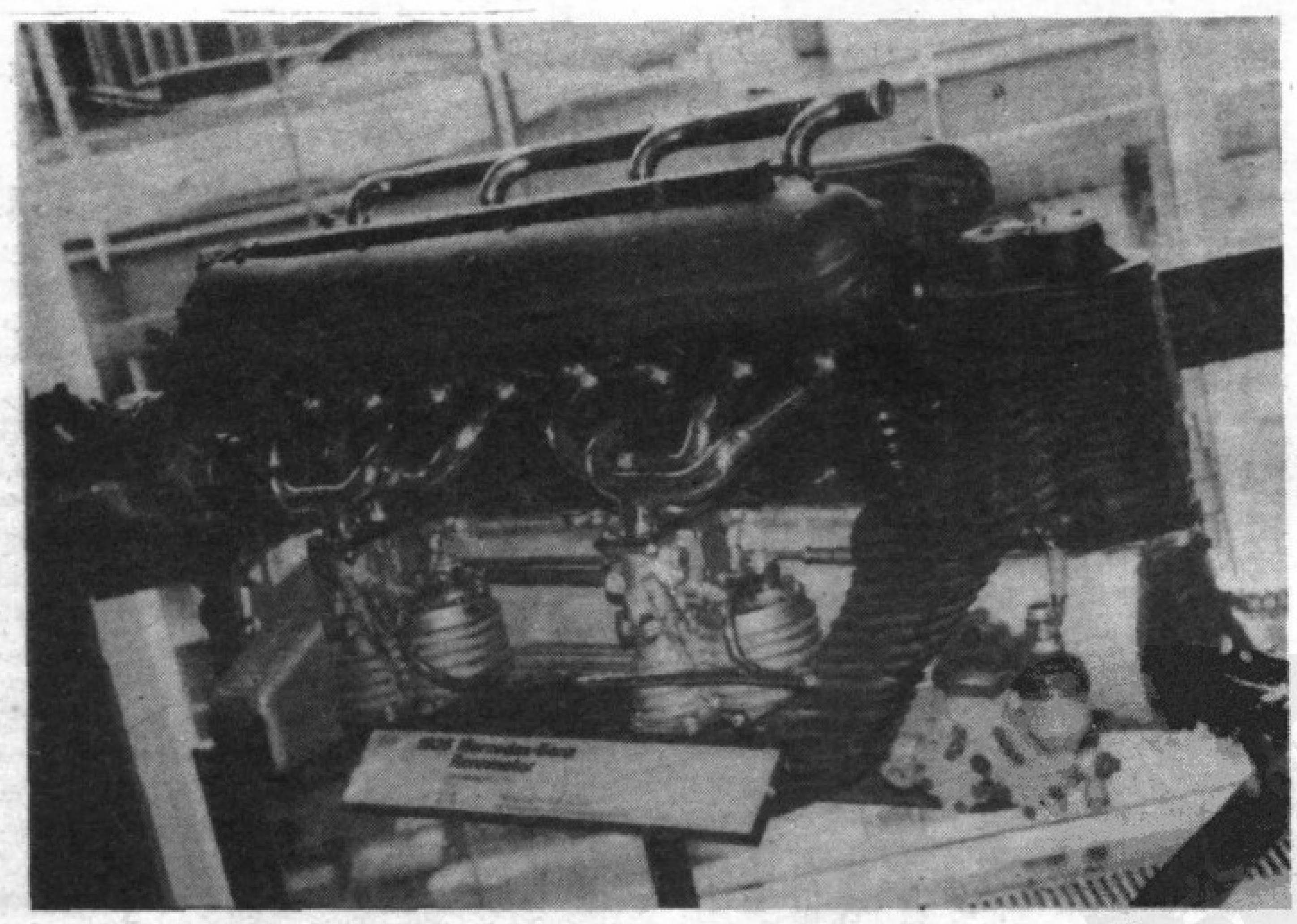
W25型发动机借鉴了菲亚特的经验，曲轴轴承采用了滚动轴承，参与了翌年即1934年5月的新布尔克林克汽车赛，自始至终独领风骚（照片38－1）。

DB601发动机是1931年开始设计的，而自1922年以来一直名列榜首的菲亚特赛车用发动机使用的是滚动轴承，因此设计BD601时不可能不受其影响。可以想象如同上述的W25型发动机一样，戴姆勒·本茨的设计班子自然而然采用了滚动轴承。

追查日制DB601的故障原因

那么，日本制造的DB601发动机（川崎飞机制造公司制造的称作哈40和哈140型；而爱知飞机制造公司制造的称作厚田11和21型）的故障原因到底是什么呢？前面已经记述过了，我曾暗自猜测是轴承精度有问题引起的。1978年12月，我见到了鱼住顺三先生（后来任爱三工业会会长）。战时，他在爱知飞机制造公司一直从事厚田发动机的工作。

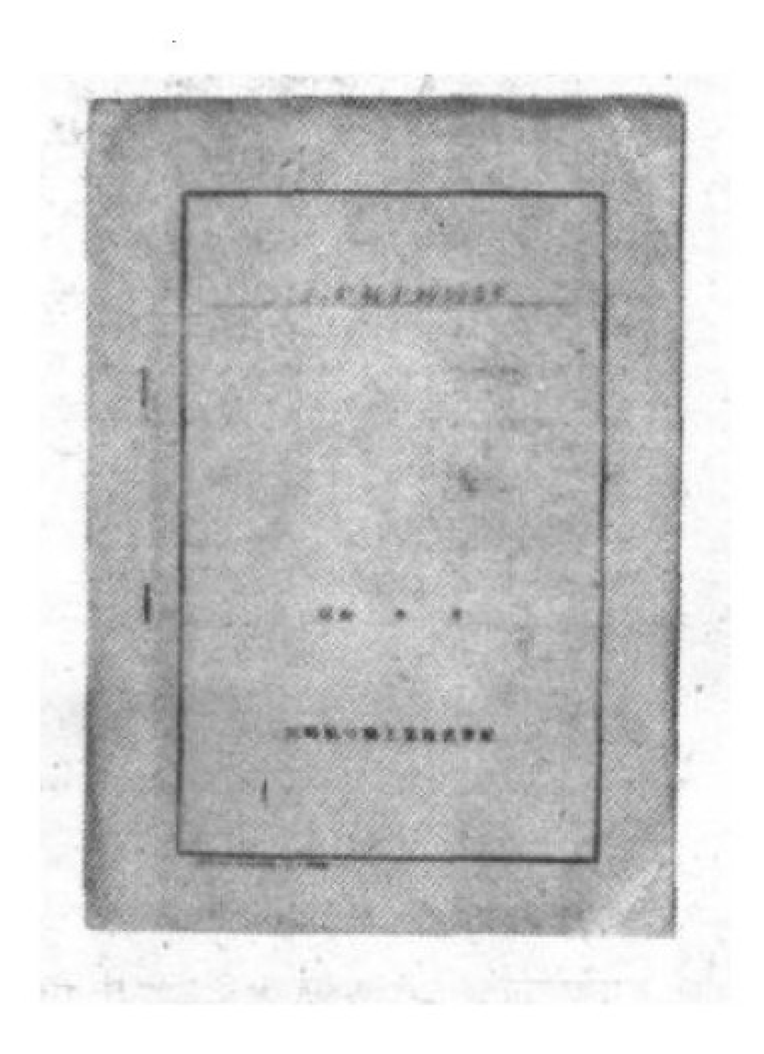




照片38 - 1　默谢台斯 W25 及其发动机。缸径 78mm、行程 88mm、3.36L、354hp,从罗茨鼓风机至两个压力式化油器的管路被一片翅片覆盖着。后来发展为 5.66L、646hp(照片中的发动机为 4.3L、462hp)(本茨博物馆)

据鱼住先生讲，他们非常重视滚柱轴承的精度，使用时都挑选滚柱的圆度在 0.002～0.003mm 范围内的。据他回忆，由于曲轴的渗碳硬度不够，所以质量差。当时，上面已经决定进行设计变更，改用普通轴承了，但实施起来很麻烦，最后又改成空冷星型发动机了。听了这席话，我仍理不出头绪来。

1981 年 4 月，在富塚清主办的特殊内燃机研讨会上，高月龍教授和曾田範宗教授作了演说，两人都提及到 DB601 发动机。特别是曾田教授，保留着当时川崎飞机制造公司的报告，介绍了报告内容。我借来了这份珍贵的报告，仔细拜读了（照片 38 - 2）。综合两位先生的讲演及当年的报告、罗金多尔夫、鱼住会长和富塚教授的见解等，再加上我个人的经验，对故障原因作进一步推测。于是，DB601 发动机的故障全貌便跃然而出。详细分析另有附录，现简单扼要地归纳如下。

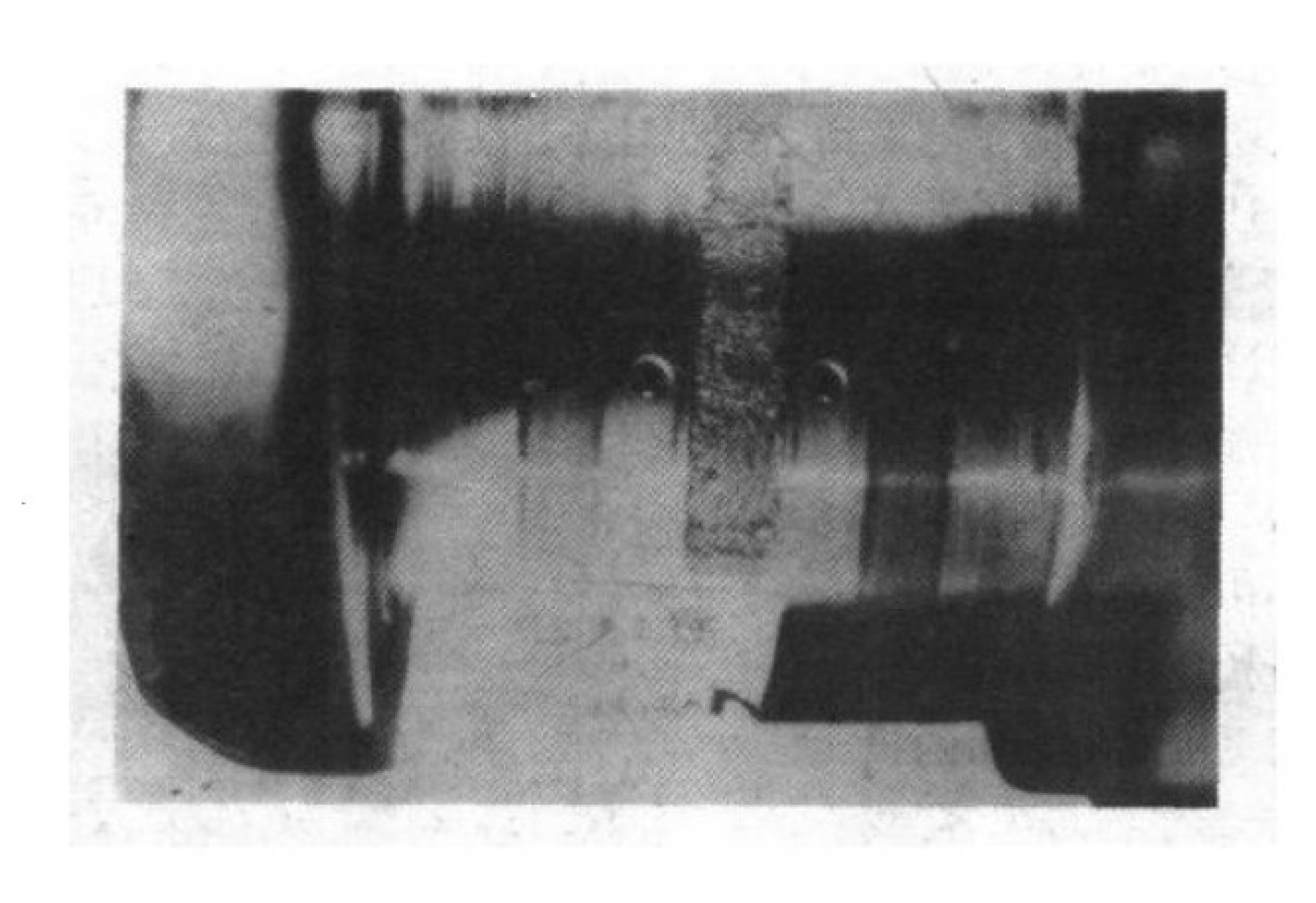


照片38 - 2　哈 40 发动机（DB601 发动机的日本名）的曲轴剥离调查报告

故障的主要原因

故障主要在于曲轴销外周表面在运转中剥落（照片 38 - 3）。

第一个原因是外周部分的热处理不良，钢的硬度不够。家庭用的菜刀和水果刀用钢不加以处理，很快就卷刃，不锋利了。因



照片 38－3　哈 40 发动机的曲轴剥落状况的举例

此需要淬火，即必须先加热，然后骤冷，使钢变得坚硬。好的菜刀之所以锋利，就是淬火技术出色的缘故。同理，曲轴应采取比菜刀更高级的渗碳淬火，提高其表面的碳浓度，特别是提高表面硬度，但在当时这种工艺技术尚不够完善。

第二个原因，我想恐怕是因为滚柱形位公差不当。为了使滚柱承受的负荷分布过渡得更圆滑，用一般圆柱形是不行的，需要把端部加工得稍细些。否则就会发生剥落。反之，如果端部过细，又会发生歪斜（Skewing），滚柱跛行着开始运转（图 38－2）。而且不可避免地仍发生剥离烧蚀。图 38－3 是用于汽车驱动轴的滚柱例。选择这种形状的圆柱是根据多年经验而非一朝一夕能得到的。这确实是 DB601 发动机所欠缺的。

第三个原因恐怕是因为曲轴本身的加工精度不当。轴颈部本

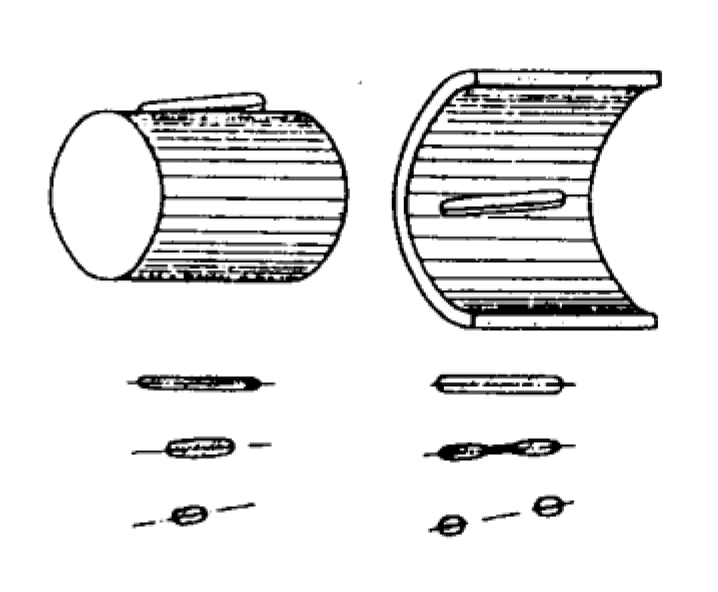


图 38－2　滚柱轴承的歪斜（山田提供）

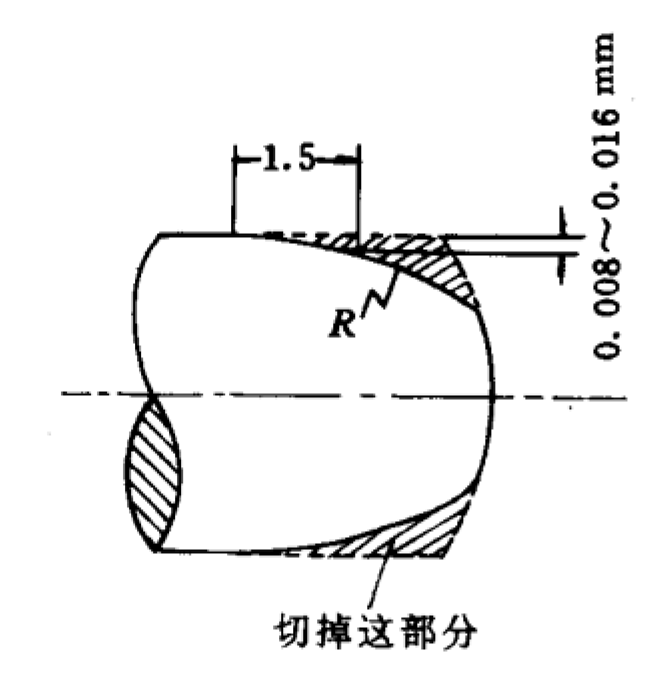


图38－3　滚柱端部形状应如图示，切掉两端，就可防止轴部的剥落

来应该是圆的，有时肉眼看上去加工得很好的轴，精密测量结果却如图 38－4 所示，有饭团形的，有花瓣形的。即使在今天曲轴颈部的圆度仍然至关重要。其圆度若不控制在 0.003mm 以内，则耐久性差。为了进行精密加工，需要加工精度高的机床和加工技术，估计 DB601 发动机在这方面也还欠佳。

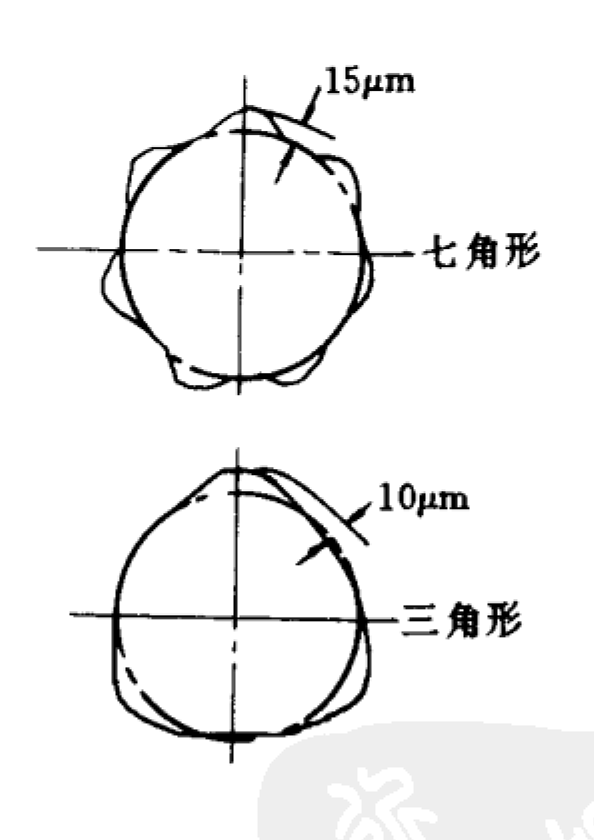


图38－4　曲轴圆度举例。应该是圆的，但由精密测量可知，有时呈图示的这种形状

此外，滚柱本身以及轴承架支撑滚柱的零件精度当然也有问题。鱼住先生说滚柱圆度是 100％检查的，意欲靠人力来弥补生产能力之不足。不过当时的主要劳力是动员来劳动的学生，凭学生的“技术水平”是否能从

精度悬殊的工件中挑选出合格的零件，倒值得怀疑。

能克服故障吗？

那么，如果攻克了这些技术课题，DB601 就不会出故障了吗？据我看起码可以防止与曲轴有关的故障。然而，该发动机电气系统、燃油系统的故障也不少，特别是燃油喷射系的质量还未过关。即使现在的柴油机，在开发过程中最费神、最花时间的部位也是燃油喷射泵。

所谓汽油直接喷射式，与柴油机一样，是将燃油直接喷射到气缸里的方式，其喷射泵本身的结构基本上与柴油机的相同。柴油机因燃料中的轻油有自行润滑性，所以具有润滑油的性质。而汽油没有这种性质，因此汽油喷射式的润滑方式比柴油的难度更大些。

日本正式的柴油机用喷射泵，是在 1942 年与创始人——罗伯特·博世公司进行技术合作后开始生产的。由于战争，从德国订购的机床不能到货，因此加工出来的喷油嘴等的精度达不到要求，合格率只有 5%，其惨状简直令人难以置信，在这种形势下，再引进汽油直接喷射式的，只能是胡闹。

另一个故障是火花塞污染。当然这要归咎于倒置发动机，润滑油和燃油油耗的控制是发动机的根本问题，是永恒的课题。不错，星型发动机的气缸，倒置的也占一定份额，气缸全部倒置的 V 型发动机，其润滑油控制之困难是可想而知的。

滚动轴承的采用是否妥当？

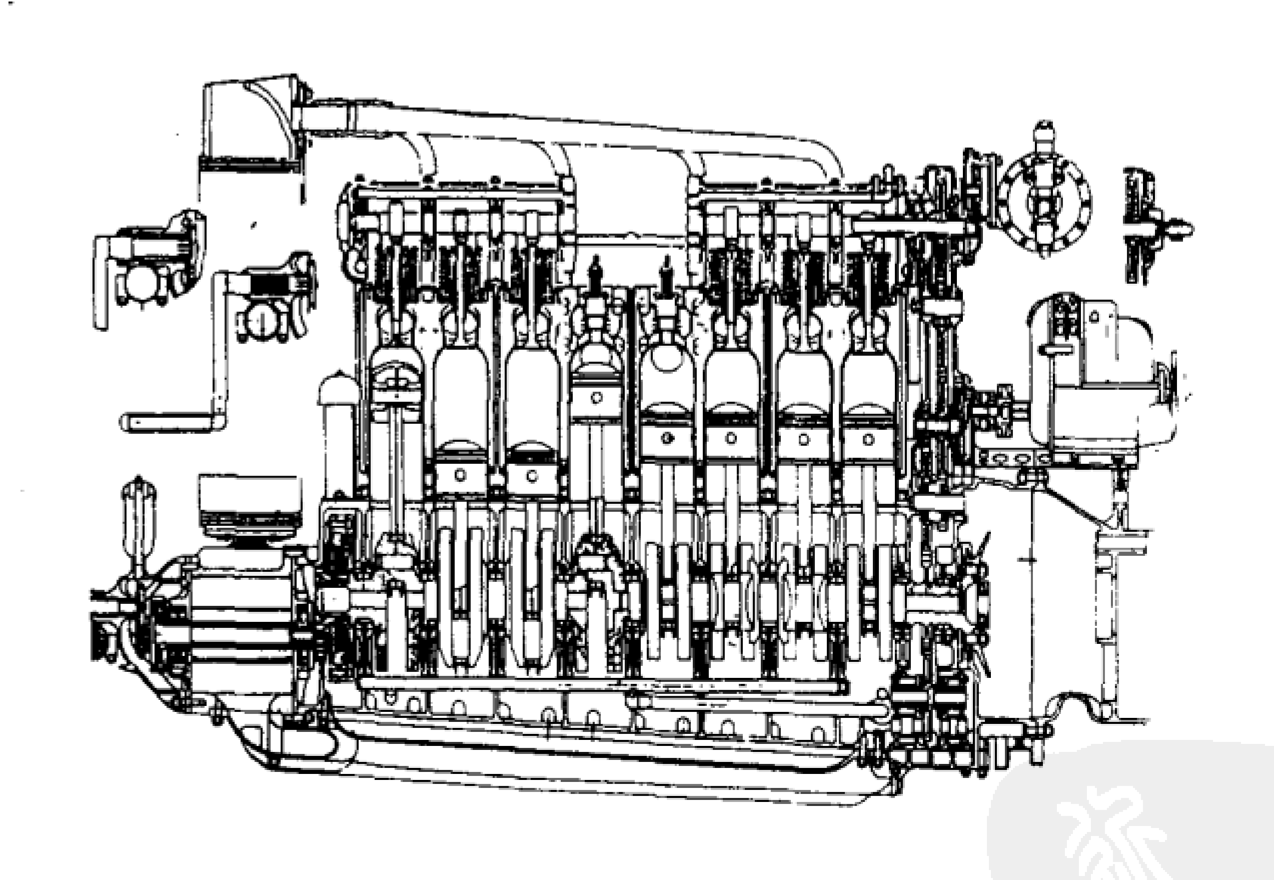
采用滚动轴承进行基础设计是否妥当呢？在当时的德国机械工业条件下可以说是妥当的，因为已经有生产技术和相应的专门技术储备。反之，如果不具备这些条件就不妥。富塚教授指出的 ABC 发动机的故障，是在滚动轴承普及以前，相关条件不具备的情况下产生的。

1964 年和 1967 年，本田分别制造了 1.5L 和 3L 的赛车用发动机，两者均采用了滚柱轴承。本田车在各地的赛场上骁勇善战，使日本人热血沸腾，没听说曲轴方面出过故障。只要具备正确设计、精确加工的条件，就会获得相应的成果。

结论是，以当时日本的技术能力，引进 DB600 系列发动机是不合适的。

附录 A38 - 1　阿尔法·罗密欧 P2 发动机

钢板制的缸套焊在缸径 61mm、行程 85mm 的钢制气缸上，16 气门、双顶置凸轮轴，并装有由曲轴驱动的罗茨增压机。曲轴轴承全部使用滚柱轴承，滚动轴承在当时已成为赛车用发动机装用的主流。



图A38 - 1　阿尔法·罗密欧 P2 发动机。缸径 61mm、行程 85mm、19.9L、134hp/5500r·min^{-1}，后来提高到 154hp（1924 年）

P2 在 1924 年克雷姆斯 200mile 赛车中首次亮相并夺冠，后来又先后在法国汽车大赛、意大利汽车大赛等连连告捷，留下了辉煌的业绩（图 A38 - 1）。

附录 A38 - 2　DB601 型发动机

德国受罗尔斯·罗依斯高性能航空发动机的刺激，1931 年悄然着手开发飞机用发动机，该发动机为了保证驾驶员的视野，设计成倒立的 V 字型，即所谓倒置 V 型（图 A38 - 2、照片 A37-1）。

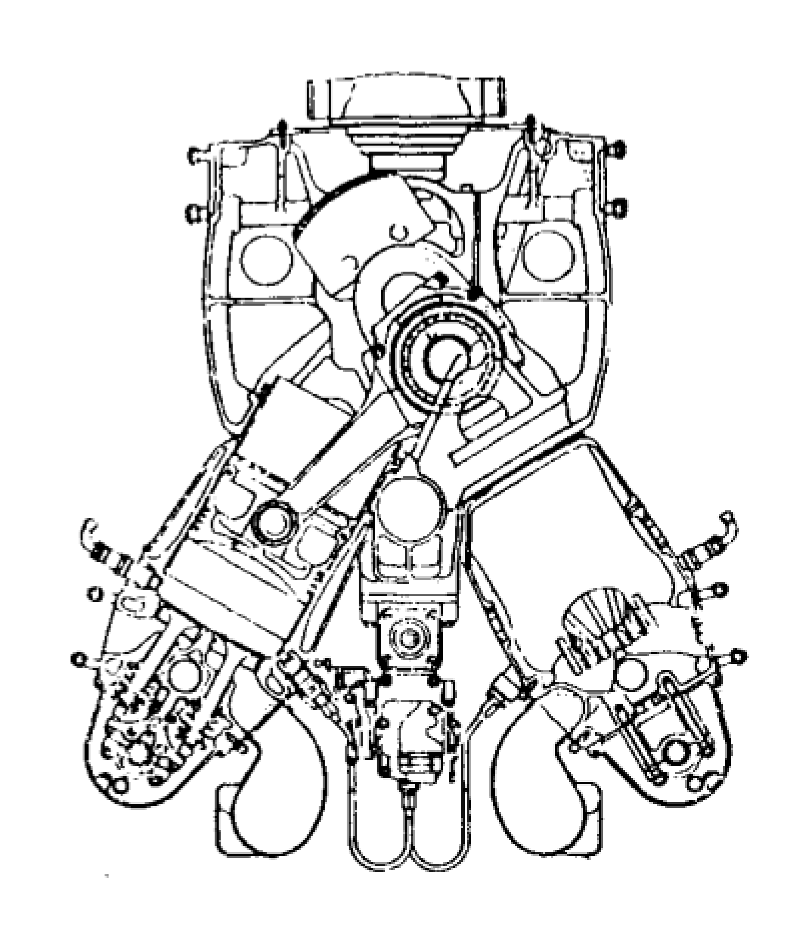
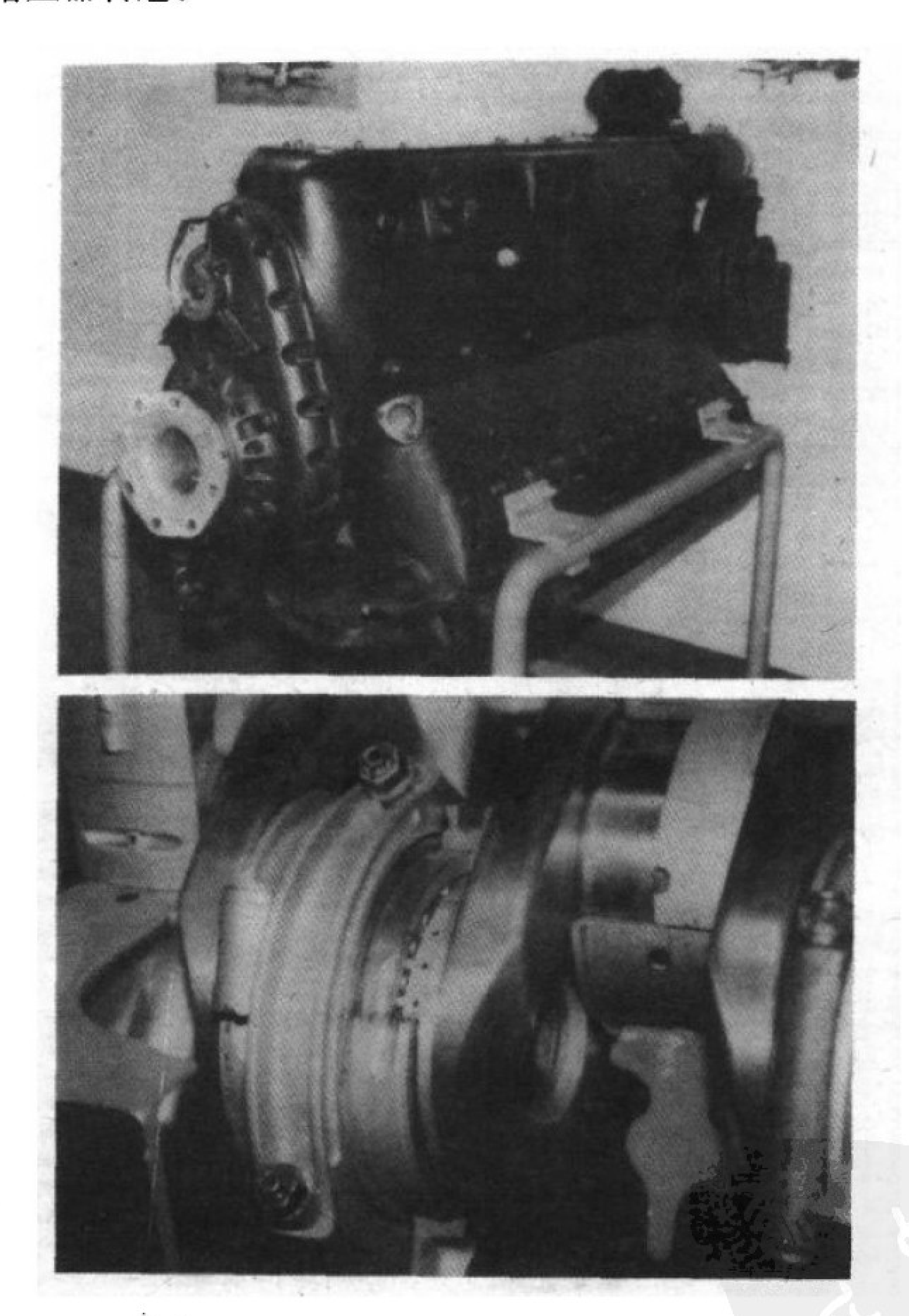


图 A38 - 2　戴姆勒·本茨 DB601 型发动机。33.9L、重 714kg（1937 年）

1935 年完成了 950hp、带化油器的发动机，1937 年制造成汽油直喷式发动机，后者是一种能与战斗机飞行姿式、重力的变化无关地供应适量燃油的结构。

缸径 150mm、行程 160mm、33.9L。后来缸径加大到 154mm，排量为 35.8L。接着，排量又进一步增加到 44.7L。1945 年以水和甲醇并用喷射式，其功率竟高达 2850hp（图 A38 - 3、表 A38—1）。大胆地采用了很多新技术，如可根据增压力、飞行高度和进气温度调节燃油喷射量的调速器机构；根据飞行高度调节液体联轴节的油量，并以此控制增压器转速。得到适当的增压，该机构是一流的。图 A38 - 4 示出其增压控制原理。液体联轴节的油量是

使用膜盒式气压计调节，自动控制与飞行高度，即空气密度相应的增压器转速。



照片A38－1　看上去美丽而精悍的DB601发动机。非帝国陆军一家情有独钟（上）。可观察到连杆轴承以及滚柱轴承和轴承架（慕尼黑道依茨博物馆）

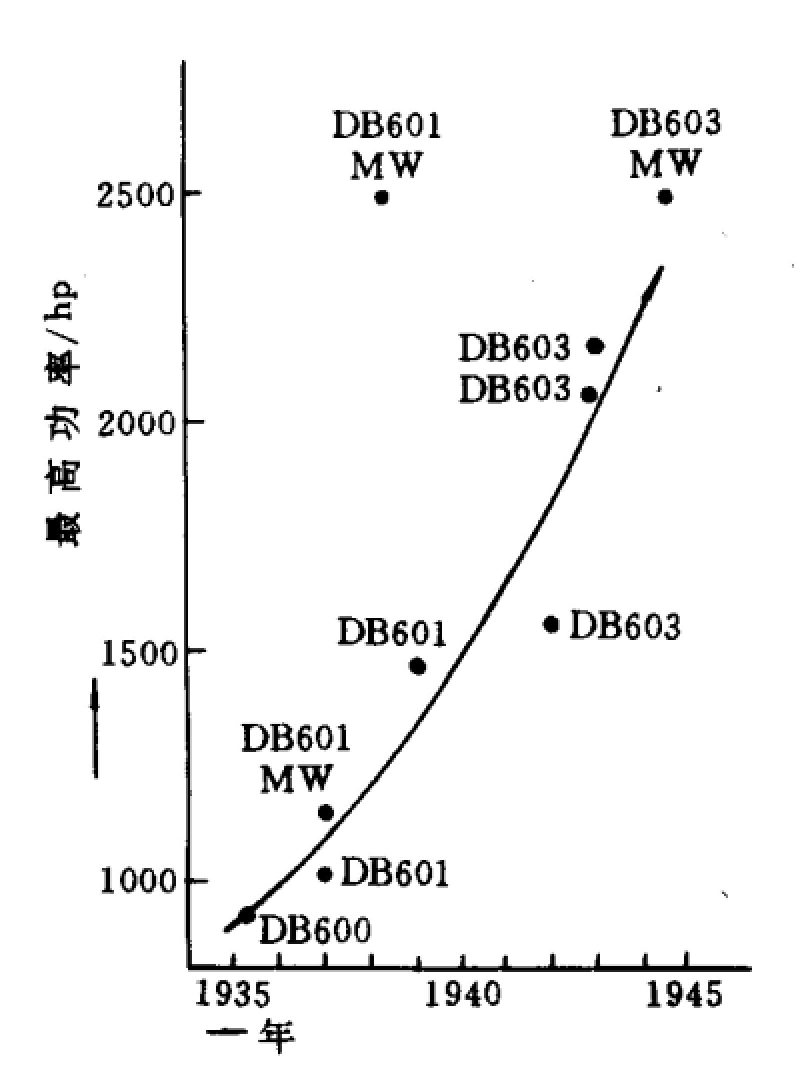
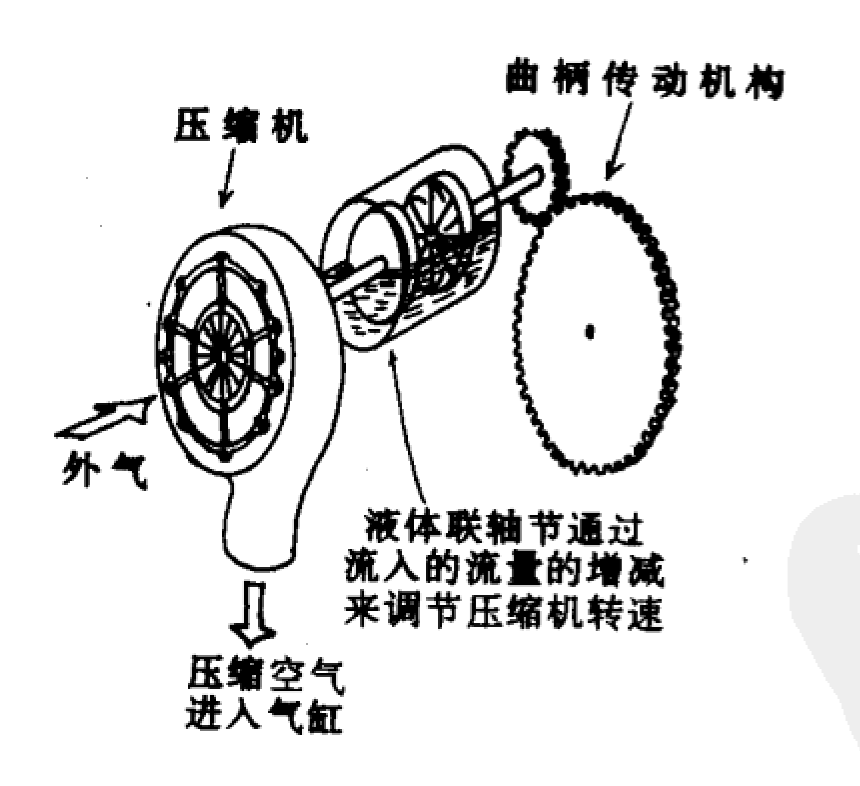


图 A38－3　DB600 系列发动机的发展过程



图A38－4　液体联轴节的油量是根据高度自动调节的，控制来自增压器的增压压力

表 A 38－1　DB600 系列发动机一览

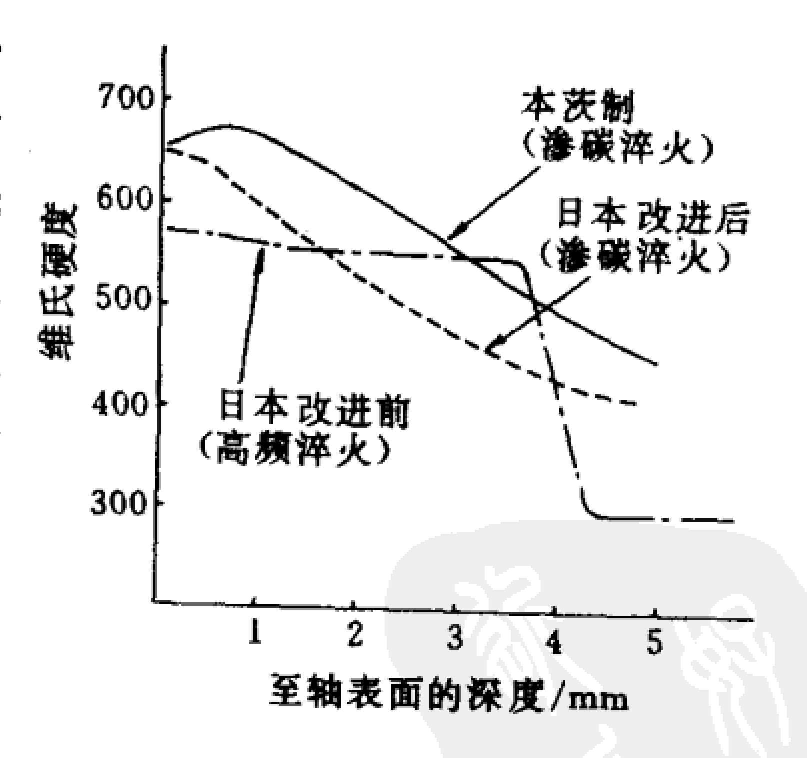
制作开始年	名　称	排量/L	压缩比	过给压力比	最大功率/hp	产　量
1935	DB 600 G（化油器）	33.9	6.5	1.38	950	约 2280（600）
37	601A	33.9	6.5	1.40	1200	约 19000
	601E	33.9	7.2	1.42	1400	
	*601RMW（1）	33.9	8.6	2.43	2700	
1941	605A	35.7	7.5	1.42	1550	约 42000（605）
（1944）	605D	35.7	8.5	1.42	2000	
1942	603A	44.7	7.5	1.40	1850	约 9000（603）
（1944）	603E	44.7	7.5	1.45	2050	
（1944）	603L	44.7	8.5	1.40	2150	
（1945）	*603N	44.7	8.5	1.75	2850	
（1942）	610A（2）	67.8			2980	
〃	604（3）	46.5			2500	
	607（4）	44.7			1750	

※水、甲醇喷射（1）为创造世界纪录的梅萨休米特机采用；（2）双子型 24 缸；（3）X 型 24 缸；（4）柴油机

附录 A38 - 3　DB601 发动机曲轴轴承故障的补充分析

（1）轴颈的热处理不良

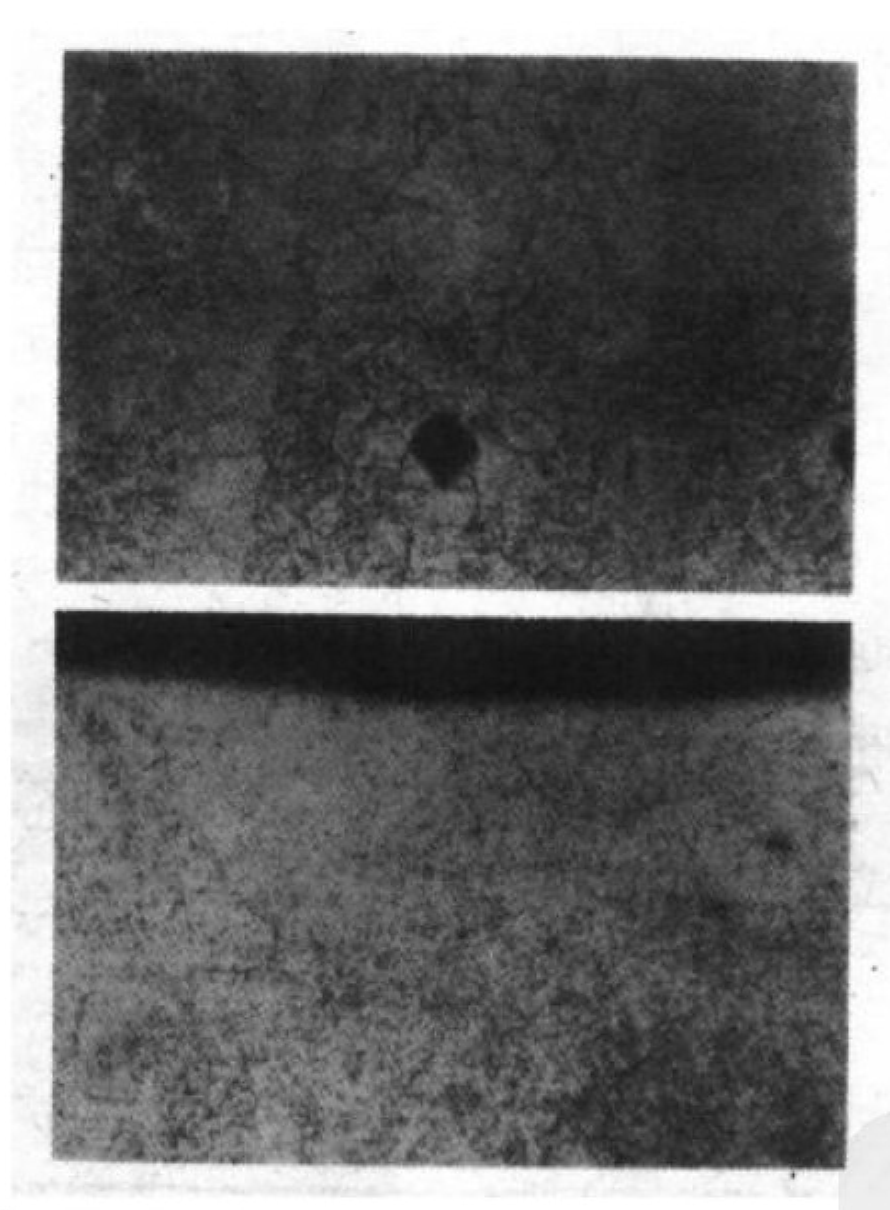
日本最初也进行了轴颈的高频淬火。但这种场合，表面硬度明显地不够，运转不到 100 个小时便发生了剥落（本文照片 38 - 3）。后来改为渗碳。如图 A38 - 5 所示，最表面的硬度接近德国产品。但深入 1mm 左右处，硬度立刻就降低了。这种方法叫做表面硬化法。内部仍保留着所谓软状态，目的是在提高表面强度和耐磨性的同时，仍保持内部金属的强



图A38 - 5　哈 40（戴姆勒·本茨发动机国产化）发动机的曲轴硬度

韧性。但是，使用滚柱轴承时，由于滚柱局部承受很大的负荷，所以必须能承受局部变形。因此估计其硬化层深度得在 1.5mm 以上。

另一方面，从观察渗碳部分的金相组织可见德国产品是纯马氏体组织，而日本产品却从马氏体中析出了屈氏体来(照片 A38-2)。淬火前的钢组织，特别是奥氏体中的化学成分的均匀性是个重要因素。有人说使用当时的德国克鲁伯耐磨镍铬渗碳钢就好了，所以材料本身肯定也是故障的原因之一。



照片A38-2　哈 40 的曲轴(上)的马氏体组织里伴有屈氏体析出，而本茨的产品却是单一的马氏体组织(下)

另外，当时镍供应短缺，也有人说是因为没有使用这种材料所致。这里引用的数据是使用了镍的依 221 材料(战时规格)，就是说是使用了最高级的镍、铬、钼钢。估计炼钢技术也有问题。

(2) 改为普通轴承的经纬

我对战时把滚柱轴承改为普通轴承一事颇不理解，我猜想大概是因为轴承厂被炸之故吧。为了得到正解，我通过本茨公司的朋友费兰克莱作了调查。1983 年 8 月，我收到了当时参加这项设计的霍夫曼先生的信，许多疑点冰释了。

首先，设计更改的经过如表 A38－2 所示，的确是把滚柱轴承改为普通轴承了。但不是因为故障，而是因为滚柱轴承用的轻合金保持架，本茨公司的生产设备保证不了供应。

表 A38－2　DB600 系列发动机的曲轴轴承变更的经过

发动机	曲轴主轴承	连杆轴承	
		主连杆	副连杆
DB 600	普通	滚柱	普通
DB 601	↑	↑	↑
DB 605	↑	普通	↑
DB 603A 系列 1	滚柱	滚柱	↑
DB 603A 系列 2	↑	普通	↑

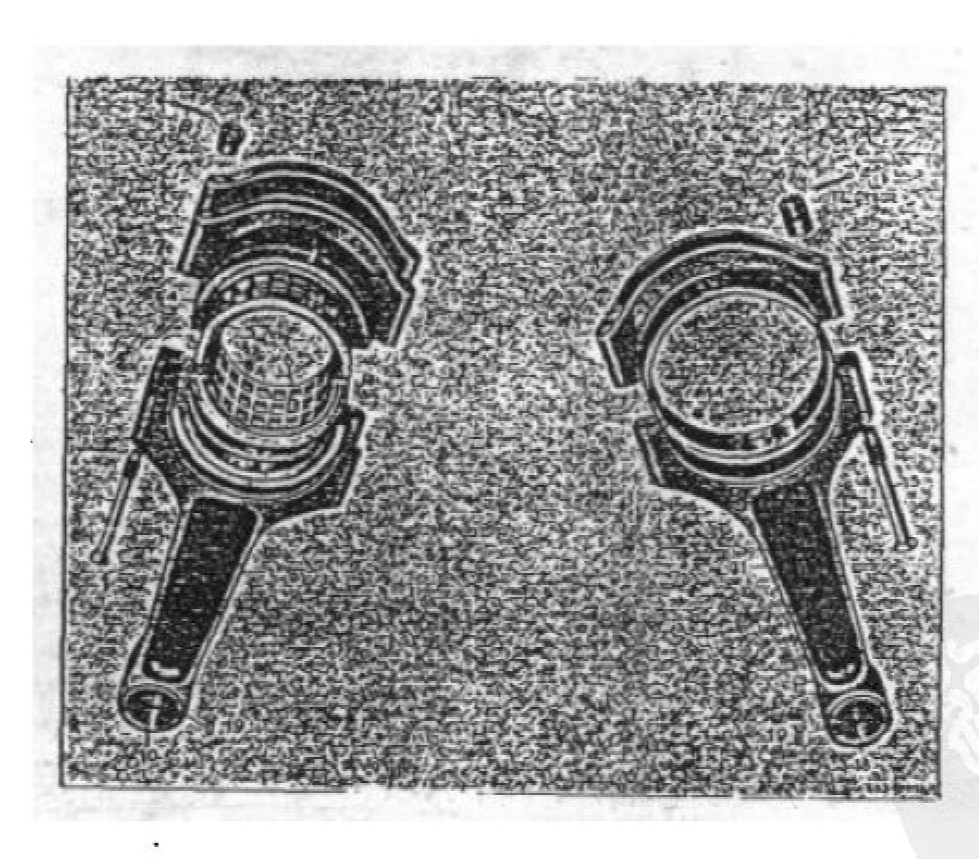
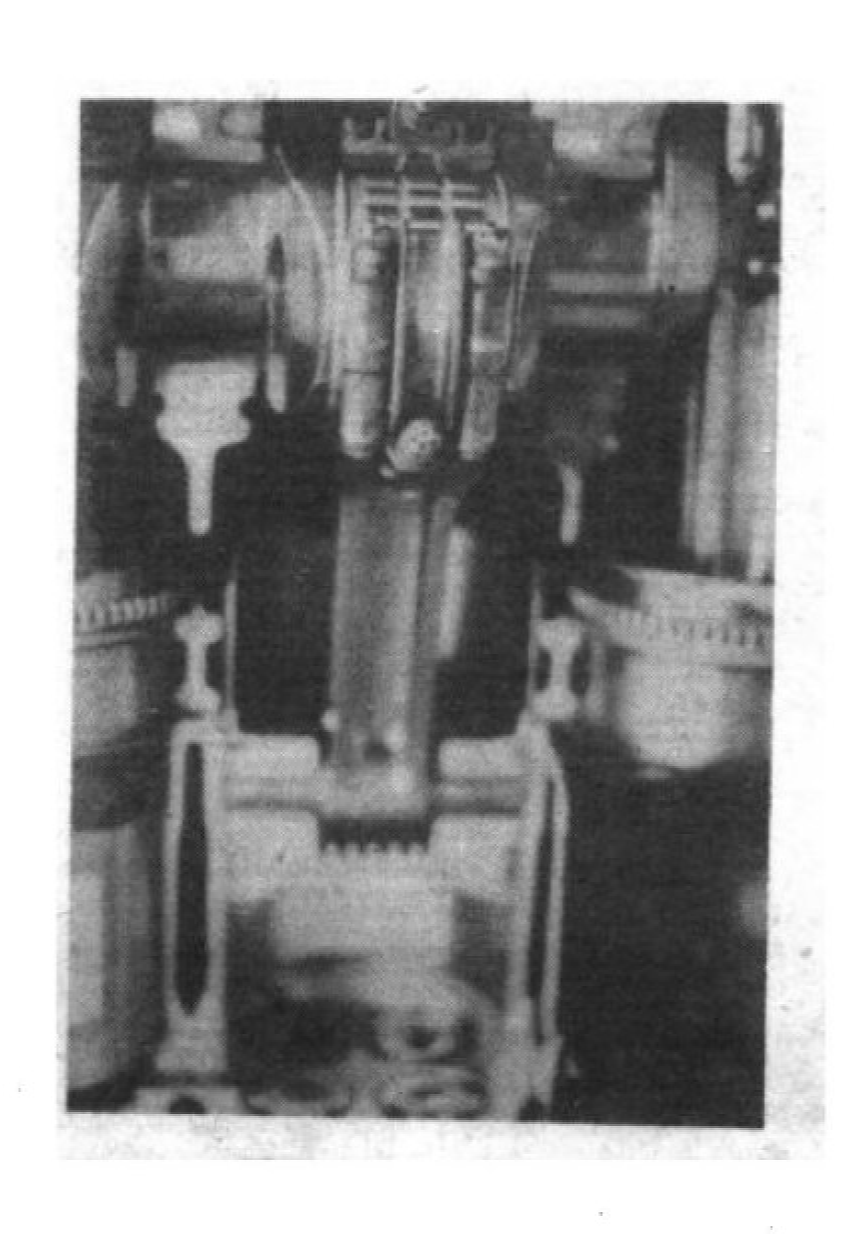


图 A38 - 6　最初的连杆轴承设计

为了理解这张表，有必要了解详细的结构。最初的设计，如照片 A38 - 3、图 A38 - 6 所示，主轴承采用了普通轴承，连杆轴承

中主连杆采用了滚柱轴承，副连杆采用了普通轴承。即，如图所示，叉型连杆使用三排滚柱轴承，连接在曲轴销上，副连杆借助于普通轴承连接在轴承外圈上。这种设计在 DB605 上就改为普通轴承了。如图 A38 - 7 所示，值得注意的是，这种轴承不是现在通常采用的所谓薄壁轴瓦，而是厚轴瓦。



照片 A38 - 3　最初的连杆轴承。主连杆采用滚柱轴承，副连杆采用普通轴承

在下一级的 DB603 设计中，又回到原来的滚柱轴承上了。同时曲轴主轴承也改为滚柱轴承（表 A38—2）。就这个反复过程，霍夫曼解释说：特别是在高空，最好选择能承受发泡润滑条件的材料，所以最终设计成如图 A38 - 8 所示的形状。

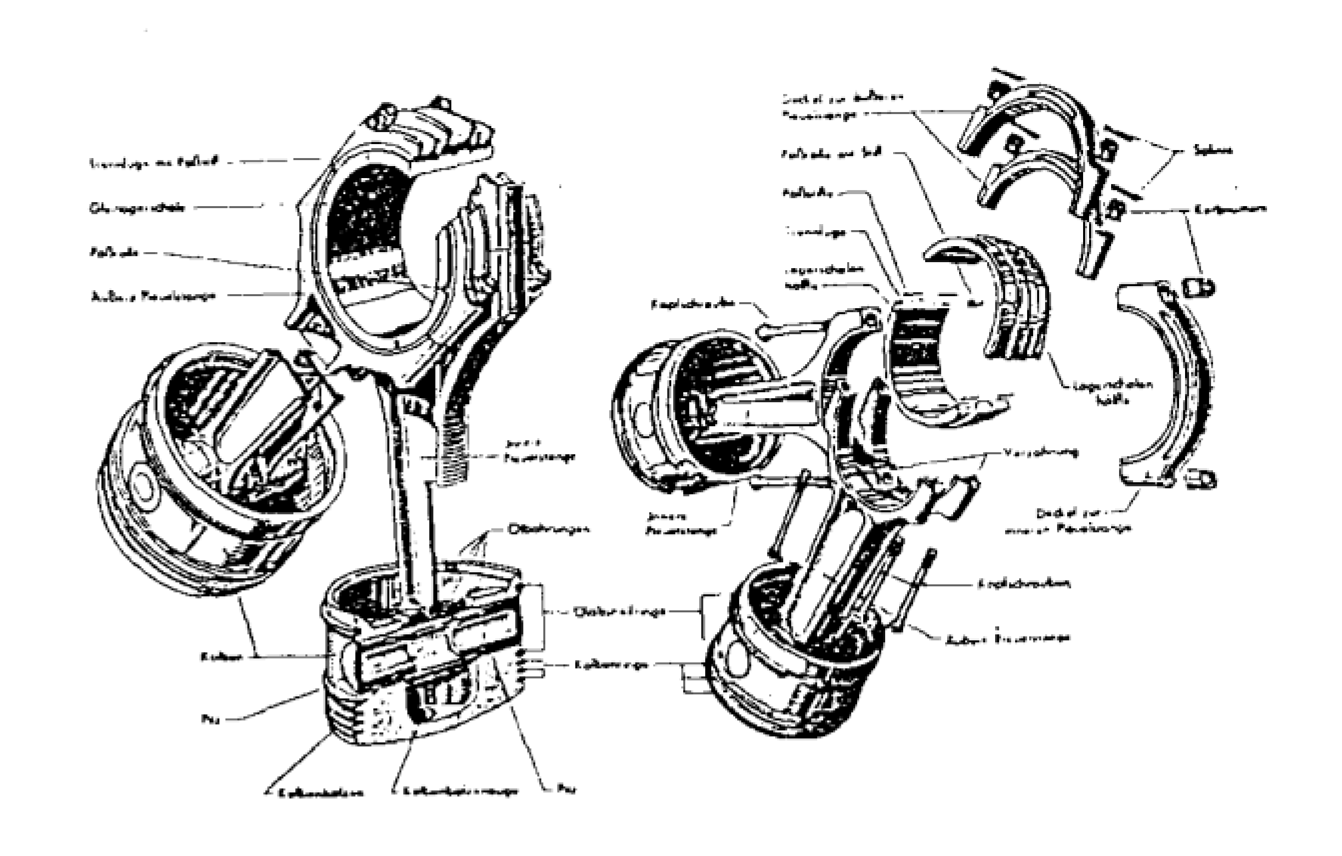


图 A38 - 7　DB605 普通轴承

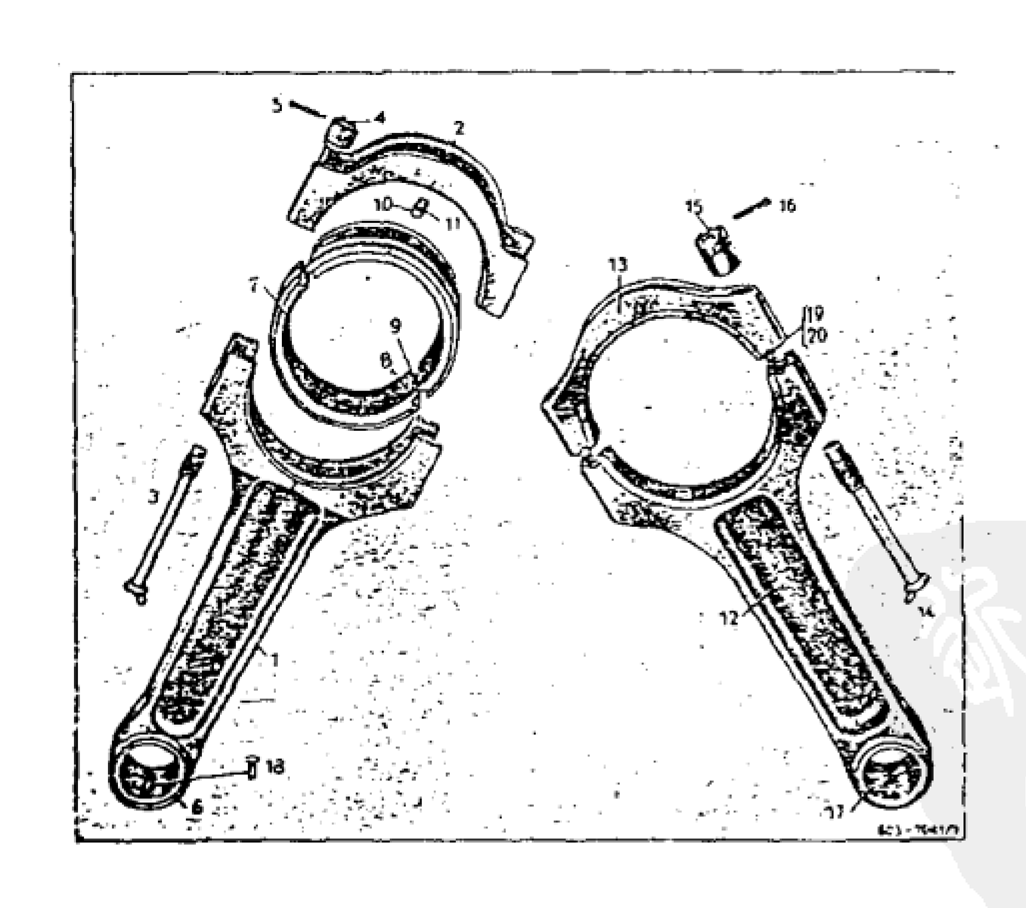


图 A38 - 8　普通轴承的设计（最终型）

(3) 轴承设计的评价

DB600系列的曲轴轴承的设计一向是特殊的。但是，为什么采用滚柱轴承？为什么主轴承是普通轴承呢？这些技术问题颇能引起人们的兴趣。

如上所述，维托里奥·耶诺对当时的白合金的耐负荷性感到绝望，而采用了滚柱轴承。后来，凯尔梅特发现普通轴承的负荷容量相当高，当然正规的高负荷轴承有待于所谓薄合金的出现。

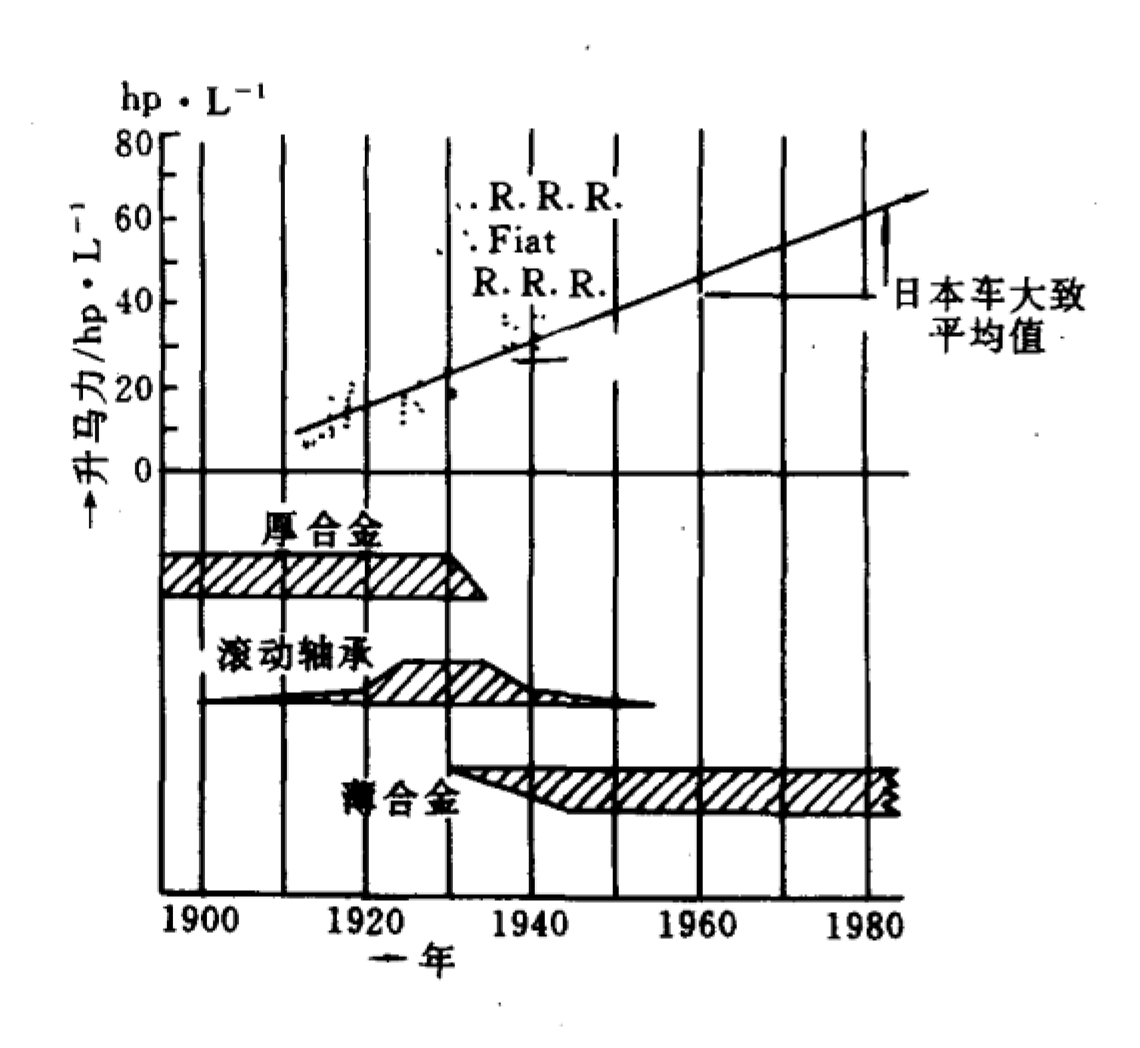


图 A38－9 往复发动机曲轴轴承的变迁

即，从前的普通轴承，是在厚度约为5mm的青铜（指瓦卡镍铬电热线合金），其内侧焊有轴承材料。后来又把这种瓦卡镍铬电热线合金改为钢背，厚度减薄到1.5～2mm，负荷容量骤增。这样一来，只要润滑条件具备，滚柱轴承就不是对手了。但是，这种薄合金是在1930年前后在美国发展起来的。而DB600是于1931年开始设计，不妨设想当时本茨尚未引进这种技术。从图A38－7的厚合金可见一斑。图A38－9概略地示出轴承的发展过程。DB600设计时期，恰是从厚合金向薄合金过渡的时期，本茨选择

了滚柱轴承，也是可以理解的。

既然如此，主轴承为什么又选择了普通轴承呢？如果负荷容量能够满足的话，普通轴承质量轻、结构紧凑，而且主轴承的润滑油供给方便。反之，连杆轴承必须通过曲轴上开设的油孔供给润滑油，如果油孔位置不当，受离心力和轴心变化的影响，供油往往不均衡。这一点，即使在今天，也是设计上的一个重要研究课题。

现在，计算技术提高了，轴心运动轨迹也能相当精确地计算出来。但在不具备这些条件的当时，高空中润滑油起泡问题又令人担心，主连杆采用了滚柱轴承，以备万一润滑油断了，也能保证运转。因此一度改为普通轴承后，又改回到滚柱轴承，是情有可原的。最终型的主轴承之所以采用滚柱轴承，恐怕仅仅是解决负荷容量增加的一种措施，但仅连杆又改用普通轴承，恐怕是简化设计和如霍夫曼说的，能够选择适合的材料的缘故吧。

鱼住先生还指出，滚动轴承的优点是，起动扭矩小，起动方便，无疑这对战斗机用发动机来讲，具有很大的诱惑力。

（4）关于技术的飞跃

表A38—3　哈40系列发动机失败原因与技术教训

项　　目	内　　容	原因推断
发动机负荷骤增（轴承负荷等）	BMW9　17hp/L ↓ 哈40　35hp/L ↓ 哈140　43hp/L	相对于负荷（荷重）的增加，精度和材质措施不当
汽油直喷式的采用	化油器 歧管喷射 ↓ 缸内喷身	对于技术的飞跃，准备不足，缺乏对喷射阀精度、误差的管理技术
倒置式发动机的采用	润滑系统复杂	缺乏控制润滑油油耗的技术。对润滑油特性缺乏研究，另外，也缺乏对点火的研究

以当时的日本技术水平引进DB601技术是勉为其难的。表A38—3示出主要的技术飞跃内容。例如，川崎飞机制造公司借鉴BMW9型的经验，研制了水冷V12型航空发动机，它后来作为

“航研机”（飞机研究所长途飞行研究机，由现日野汽车工业公司的前身——东京瓦斯电气工业公司制造）的发动机创造了世界纪录，风靡一时。DB601 的升马力曾是该发动机的 2 倍以上，可见日本的技术水平有了很大的飞跃。另外，还有汽油直接喷射、倒置发动机，飞跃得有点过头了。

（5） *有关滚动轴承的精度*

战时滚珠轴承的精度（圆球度）竟达 15μ（0.015mm），而德国 SKF 的钢球约 2μ。今天，满街都是的打弹子机用的弹子，其圆球度也只有 5μ。精密滚珠轴承用的钢球一般加工成 0.08μ。滚柱轴承的滚柱，其圆度在 1μ 以下。

可见轴承精度有了较大的提高，是战时难以想象的。但并不是基本的制造工艺改变了，只是材料得益于 1965 年前后真空溶解钢的普及，材质迅速地提高了。并且，由于超精加工法的采用，使滚柱的精度急剧上升。但是，主要还是由于轴承厂家踏踏实实地努力，一道一道工序的改进，专门技术带来了硕果。技术水平是取决于潜在的专门技术。要评价某一技术产品，则需要审视其潜在的专门技术的实力如何（本节得到了日本精工公司的角田和雄先生和帝国活塞环公司长岛贞治先生的指教）。

39. 对未来发动机之管见（1）——斯特林发动机

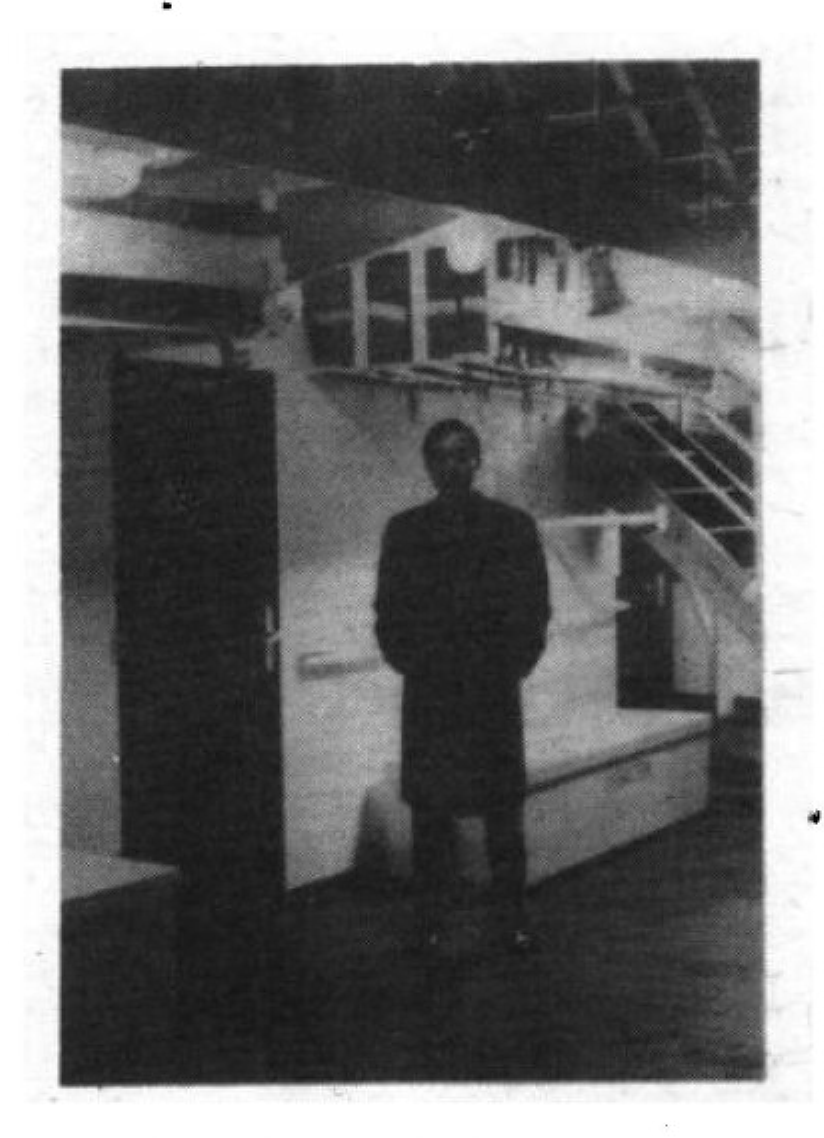
150年前牧师的理想之花开放了，但是春天何时到来啊？

斯特林发动机的复苏

发动机的未来是什么样的？人们对作为下一代发动机的几种替代发动机，众说纷纭。有人预测替代发动机会在排气净化和油耗方面不仅比现在的汽油机好，而且会比柴油机更优秀。现就其中看好的几种未来发动机之动向，谈一点管见。

1972年12月，在黑暗和寂静包围着的夜雾下的巴尔特海面上，我乘坐的轮船破浪前进，一直向马尔默驶去。从我站立的甲板底下的船舱里隐约传来了曼发动机的振动（照片39-1）。我开始了寻找未来发动机之旅。

一到马尔默市，马上请人把我带到了斯特林联合公司的发动机实验室。连接在测功机上的发动机，发出了如同冰箱的压缩机一样的动静，但发动机却是在全负荷运转。陪同的卡尔克文斯特先生把一枚硬币立在全负荷运转的发动机上，硬币只是微微颤动，没有倒下来。没有装消声器，排气就排在室内，就象从厨房里的煤气炉上方的排烟道排出来似的。通常，在柴油机全负荷运转的实验室，因为噪声太大，大声讲话都听不见。而且，排气须通过一个很大的消声器后再导到外边。但是，在那里，我们就站在斯特林发动机旁聊天。面对斯特林发动机，我受到强烈的震撼，不由得思绪万千，浮想联翩。陶汰为排气和噪声所困扰的柴油机的时代将至乎？不仅是柴油机，所有汽车用的往复发动机（内燃



照片39－1　找寻未来发动机的海上之旅（笔者）。为参观斯特林发动机，乘坐夜船渡过巴尔特海，曼公司的柴油机的运转声传到甲板上来

机），是否将由于1816年苏格兰的牧师发明的斯特林发动机的突然复苏而寿终正寝乎？

斯特林发动机为什么打破了150年的沉默突现苏醒过来了呢？这是因为上面提到的菲利蒲公司偶然地作了研究，认为斯特林发动机是适合解决排气净化的一种发动机，从此受到关注。那么，本来是电气公司的菲利蒲公司为什么研究起这种古老的发动机来了呢？

二战前，荷兰人在其殖民地——婆罗洲进行大规模的资源调查。在热带丛林里露营，很想要一种携带方便的小型发电机。要求发电用的发动机可以燃用任何燃料；其噪声应小到连汽油机发出的火花声也不能有，可使人安静地入睡，或静静地收听收音机。如果有这种装置问世的话，岂止用于资源调查呢？在军事上也是很派用场的。斯特林发动机与发电机的组合，不正是吻合了这一要求了吗？在这一背景下，菲利蒲公司从1937年着手开发便携式

发电机，并且即使在战时德军的占领下也悄然地继续着。现在，这个项目在历史的潮流推动下，改变航向，菲利蒲公司的技术被新成立的斯特林联合公司所继承。

绵薄的魅力

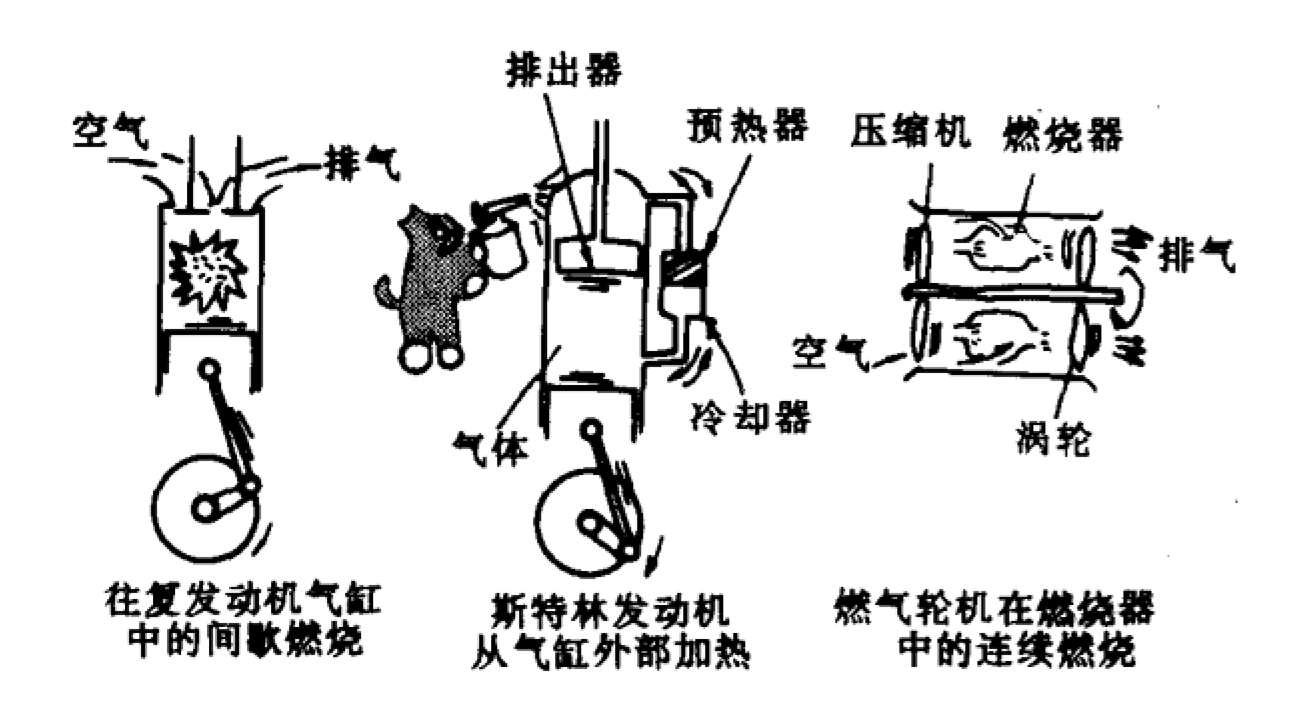


图39－1　往复发动机、斯特林发动机和燃气轮机的工作原理

※所谓排出器系指为了使密封的气体膨胀、收缩而使气体移动，并起到把膨胀的工作力传递至活塞的作用

总之，我一回国马上着手对斯特林发动机进行了深入地研究。最大的问题是输出功率的控制，即怎样安装油门踏板的问题。斯特林发动机是外燃机，是以氦和氢作为工作气体，将它们密封在容器中，通过外部加热或冷却来改变其体积，从而使活塞工作。恰似压力锅坐在煤气炉上一样，既没有爆发音也没有排气音（图 39－1）。但是，内燃机如果限制供油量或混合气量的话，那么工作气体的压力立刻下降，功率也会降低。而斯特林发动机因为工作气体是被密封的，故输出功率很难马上下降，如果不把这种气体移到别的容器里，就无法控制输出功率。象调节普通汽车的油门踏板一样地调节它，则是技术上的一个难点。并且，油耗也不理想（参考附录 A39－1）。

并且，一般发动机，由于降噪措施的进步，噪声也大幅度地

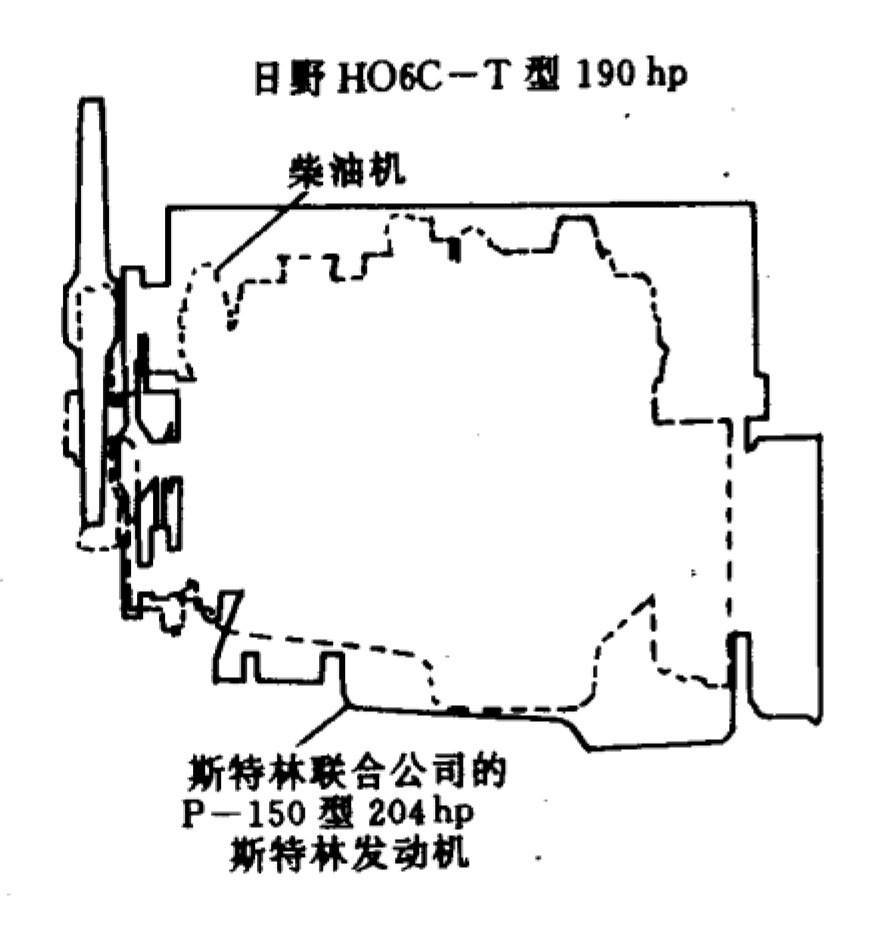


图 39－2　斯特林发动机与柴油机大小的比较。散热器另当别论

降低了，使得斯特林发动机的决定性魅力——低噪声暗然失色了。况且，即便发动机寂静了，汽车的总体噪声、变速箱等其它噪声也不是轻易地可以降低的。也就是说，要想降低汽车的总体噪声，象解决发动机噪声一样，其它的所有部分都必须扎扎实实地，每个环节都采取降噪措施（参照附录 A39－2）才行。而且，斯特林发动机的容积，通常设计得比柴油机大，要求散热器的容量为柴油机的 2.5 倍（图 39－2）。加上预热器和冷却器的成本和生产要求比现在的发动机高出很多。装外燃机的汽车，不可能起动器一发动就能立刻冲出车库的。如果珍惜那点暖机时间的话，斯特林发动机是不适合的。

然而，美国能源厅自 1970 年以来，以什么发动机能够节油 30％以上的命题，对所有种类的发动机作了反复调查。1978 年目标集中在斯特林发动机和燃气轮发动机上了。1983 年计划从两者中取一，准备在 1990 年大批量生产（照片 39－2）。最大的理由是要求燃料多样化，即各种燃料都能使用，而斯特林发动机却是可以使用任何能够燃烧的材料。石油总有一天会枯竭的（参考 41



照片 39－2　今天仍继续进行斯特林发动机的研究（于 SAE1980 年度大会上）

章）。从这个意义上讲，燃料的多样化是非常重要的。

果然不出所料，日本能源厅有关斯特林发动机的立案于 1989 年撤消。结论是其油耗比同一级的汽油车高 10～15％。更有讽刺意味的是，由于斯特林发动机带有冷却系、燃油雾化空气压缩机等副机，噪声有时比柴油机还大。日本也把斯特林发动机作为 1982 年月光计划的一环，官方和民间的研究机构都对各种形式的斯特林发动机进行了 6 年的研究，证明其油耗低于汽油机。

今天，虽然汽车行业对斯特林发动机反应冷漠。但人们普遍看好斯特林发动机，作为汽车以外的动力，到处都在进行研究开发。例如斯特林联合公司正在开发深海潜水艇用机，MTI（机械技术公司）开发出与电动机组合在一起的混合式发动机，还有利用太阳能的宇宙飞船用自由活塞发动机（活塞运动不受曲轴限制

的发动机）等等，斯特林发动机正展开理想的翅膀，离开汽车界，在飞翔。

附录 A39 - 1　斯特林发动机的油耗

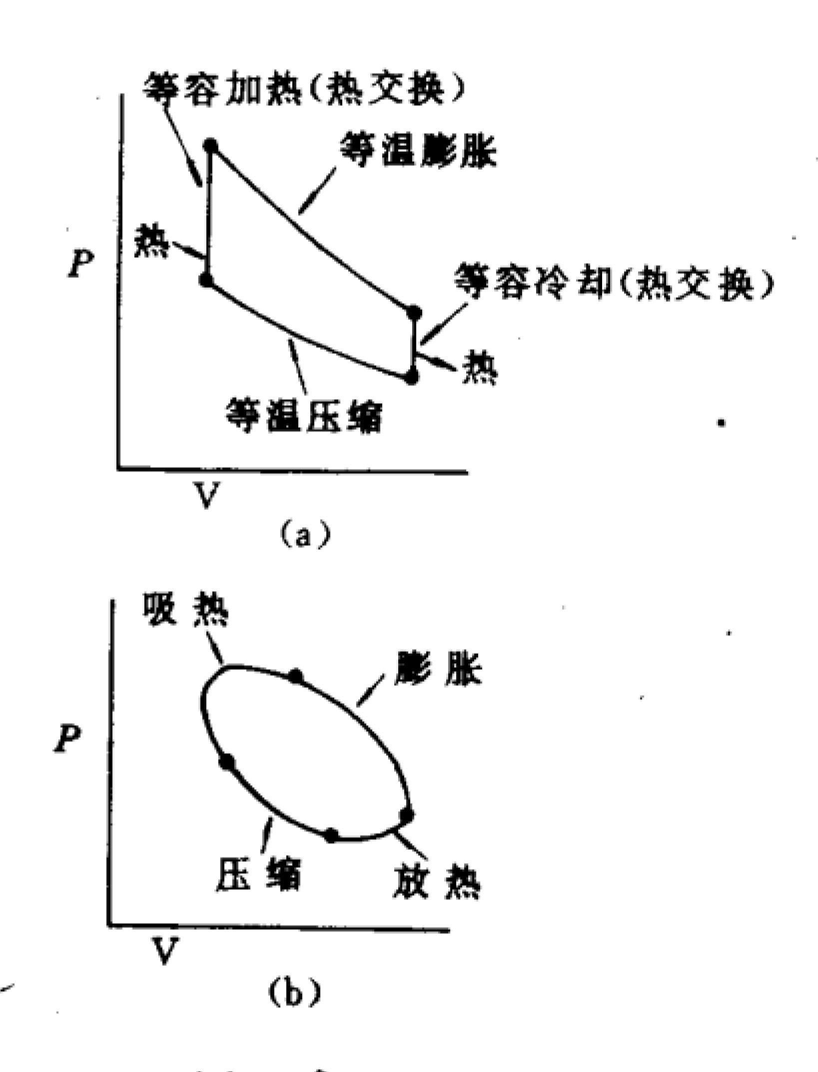
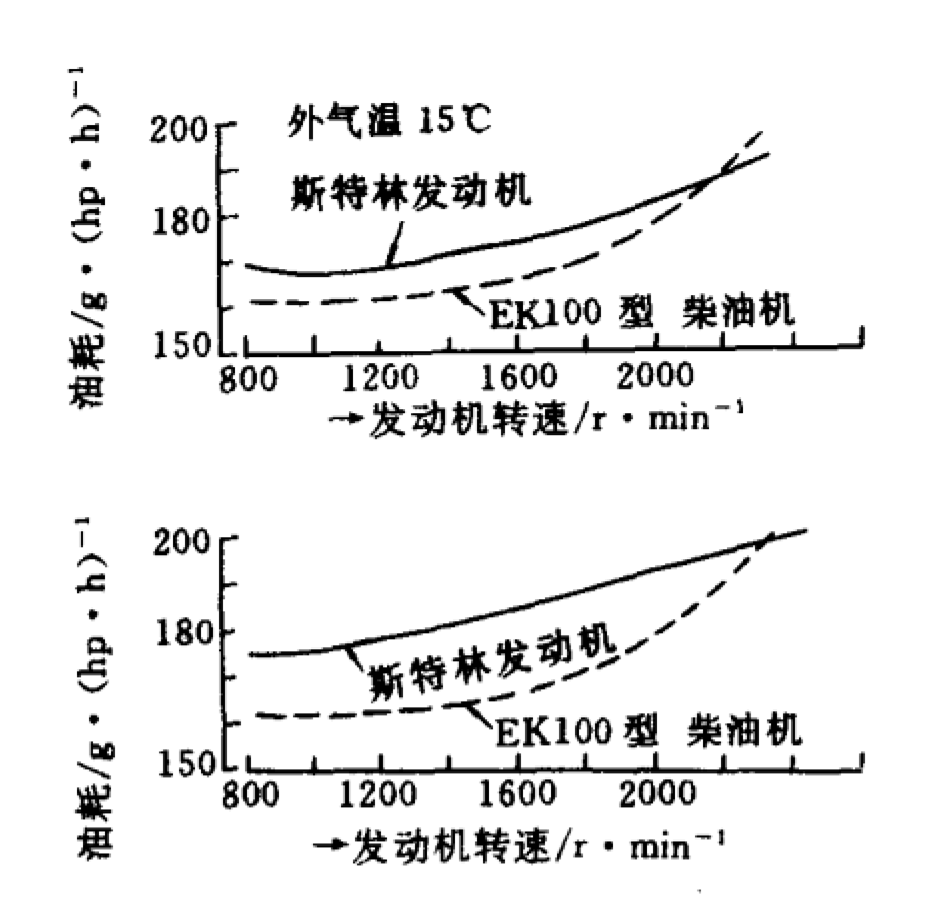


图 A39 - 1　斯特林循环
(a) 理想的斯特林循环；(b) 实际的斯特林循环

斯特林发动机是由斯特林（Robert Stirling）于 1816 年发明的。如图 A39 - 1（a）所示，斯特林发动机的循环是由两个等温过程和两个等容过程组成的理想的斯特林循环，在循环方面是优秀的。

但是，实际的斯特林发动机必须以相当快的回转速度进行密封气体的加热和冷却（如图 39 -2 所示，200hp 发动机的转速为 2500r/min ）。循环曲线如图 A39 - 1（b）所示，油耗不一定好。

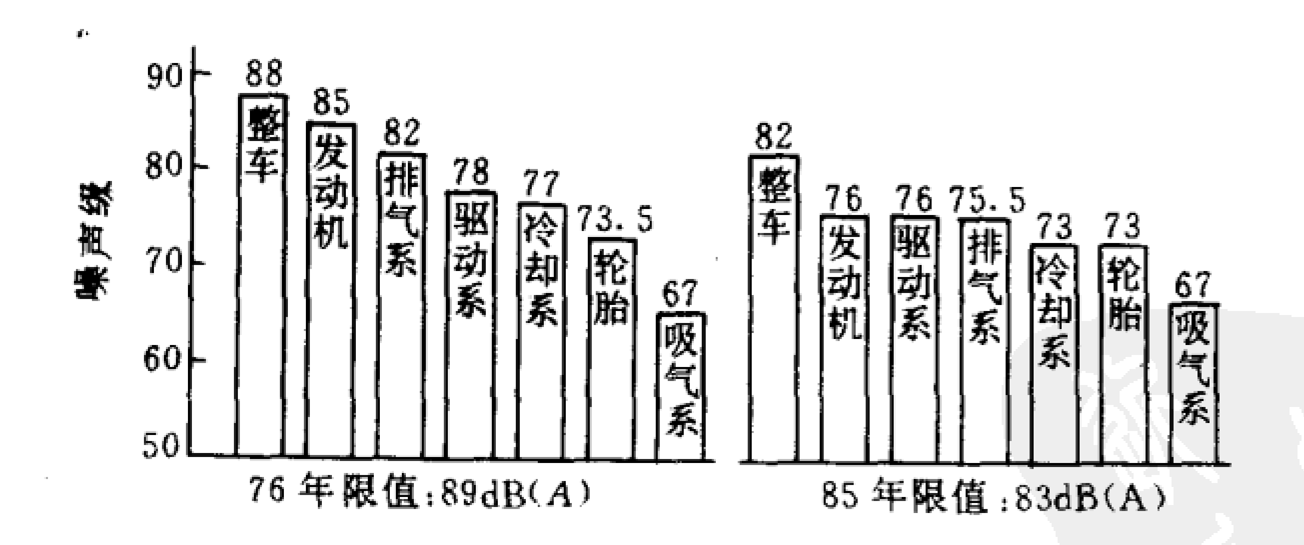
从图 A39 - 2 所知，1978 年将 204hp 的斯特林发动机的油耗与直喷式柴油机的油耗作了比较。斯特林发动机的油耗率未必好，



图A39－2　斯特林发动机与柴油机油耗率之比较。斯特林发动机的油耗率并不比柴油机的好，并且气温一升高便急剧恶化

而且气温稍许上升，油耗便急剧恶化。而柴油机的油耗却在稳健地好转，因此斯特林发动机要想超越柴油机，则要付出一番努力。

附录 A39－2　载货卡车的噪声



图A39－3　载货卡车的噪声来自几个噪声源。1985年后，发动机与其它噪声源一样，噪声降低了

图 A39－3 示出各种声源对载货卡车噪声的贡献度。显然，实

施了 1985 年法规限制值的载货卡车与 1976 年型相比，各部位的降噪措施都有很大进步。例如，我们可推测一下装在满足 1985 年限值的车上、完全没有发出噪声的发动机的效果。

噪声响度是人耳对声音的感觉，可按对数法则计算，设当时的声强为 I_A，则噪声级 A 可用下式表示：

$$A=10\log 10\frac{I_A}{I_0}\ (\text{dBA})$$

式中，I_0＝人耳能感受的最低声强，单位为 10^{-12}W/m^2。

有几个声源时，总声强 I_T 可用下式计算：

$$I_T=I_A+I_B+I_C+\cdots\cdots\ (\text{W/m}^2)$$

式中，I_T 为总声强；I_A、I_B、I_C……为各声源的声强。

总体噪声级 T 表示如下：

$$\begin{aligned}T&=10\log 10\frac{I_T}{I_0}\\&=10\log 10\left(\frac{I_A+I_B+I_C+\cdots\cdots}{I_0}\right)\\&=10\log 10\left\{\frac{I_0\times 10^{\frac{A}{10}}+\frac{I_0}{I_0}\times 10^{\frac{B}{10}}+I_0\times 10^{\frac{C}{10}}+\cdots\cdots}{I_0}\right\}\\&=10\log 10\ (10^{\frac{A}{10}}+10^{\frac{B}{10}}+10^{\frac{C}{10}}+\cdots\cdots)\end{aligned}$$

1985 年法规限制的车辆，在发动机无噪声时，

$$\begin{aligned}T_0&=10\log 10\ (10^{\frac{0}{10}}+10^{\frac{76}{10}}+10^{\frac{75.5}{10}}+10^{\frac{73}{10}}+10^{\frac{73}{10}}+10^{\frac{67}{10}})\\&\doteq 81\ (\text{dBA})\end{aligned}$$

即，既使发动机无噪声了，车的总体噪声只由 82 分贝下降到 81 分贝，效果也很不明显，可见与其它部位共同采取降噪措施是很有必要的。

40. 对未来发动机之管见（2）——燃气轮发动机

大有希望的素质，但在油耗竞争中，能超过柴油机吗？

众望所归的燃气轮发动机

美国能源厅作为未来发动机提出的燃气轮发动机虽然是内燃机，但因为它没有象往复发动机那样必须在封闭的空间里在限定的时间里燃烧的限制，所以没有象汽油机那样令人担心的敲缸；也很少象柴油机那样受摩擦损失的限制。柴油机即使想提高效率，其压缩比除了受摩擦损失的限制以外，还受燃烧条件的制约。也就是说，因为点火滞后时期过短，排烟浓度变高的缘故。燃气轮机象这样对燃油的制约少，因此人们热切地期待着它的发展。

今天，所有大型飞机上采用的喷气式发动机，就是一种燃气轮机，与车用燃气轮机及其原理完全相同。

1945 年“古拉曼”号和 P51 型飞机在战败的日本上空，恣意飞舞，炫耀胜利。同年年底，洛克希德流星号也出现在日本上空，发出犹如远方传来的闷雷般的轰鸣，划破长空，我有生以来第一次领教了燃气轮机的威力，受到强烈的冲击。不由得使我想到，活塞式发动机将会被这种新时代的燃气轮机所取代（图 40 - 1）。

不久，汽车用燃气轮机问世了，1950 年英国罗伯公司推出了装有燃气轮机的试制汽车。

沉睡在博物馆里的燃气轮机

1951 年，我请求我的导师棚沢泰教授允许我将燃气轮机作为

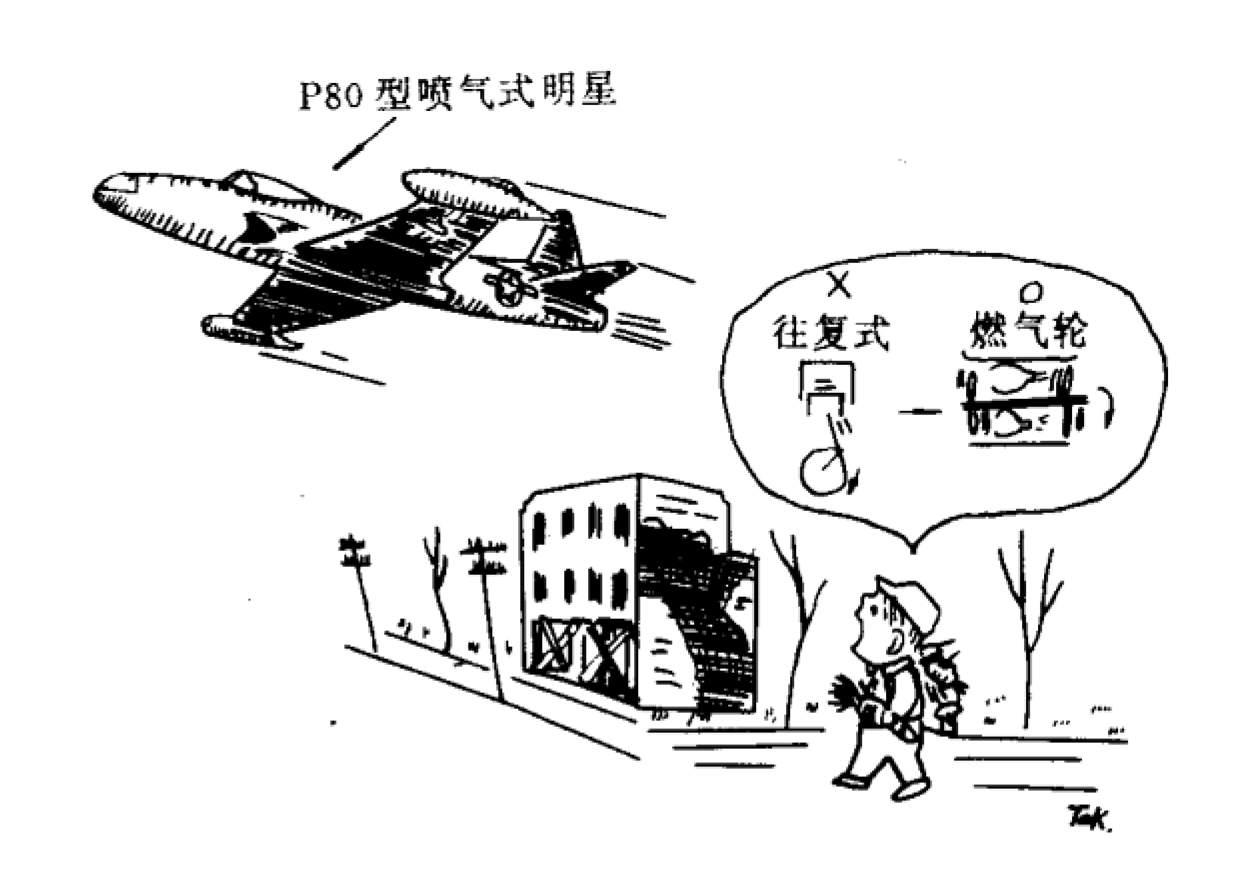


图40－1　1945 年出现在战败的日本上空的喷气机的声响，听起来仿佛在宣告往复机的消亡

毕业设计课题。这位解决了日本最早的“纳 20”号喷气式发动机的不均匀燃烧问题，并且在当时仍在继续有关研究的先生，出乎我的意料地说：“现在搞燃气轮机对你无益，不要搞。”是因为我的设计能力太平庸了吗？后来我作了 30hp 汽油机的设计。其实，在恩师看来，以当时日本实业界的情况和我的实力，不会搞出什么名堂的，所以坦率地拒绝了我的要求。

然而，1984 年春，时隔多年我又拜访了恩师。并在恩师的资料中发现了纳 20 的设计图纸。于是，又说起燃气轮机的事情来。从我看到的设计图纸上，我深深地感受到，每一根螺钉都体现出先生那种日以继夜、殊死拼搏的精神。我小心翼翼地翻阅了每张图纸（照片 40－1）。

解决“纳 20”的燃烧问题的是以棚 沢教授为首的各位；解决多级压缩机性能问题的是东北大学的沼知福三郎教授等人。据说为了达到性能指标，负责设计的水野治先生靠手工弯曲叶片，使



照片40－1 连“纳 20”设计图上的每根螺栓都使
我感受到技术人员的拼搏精神。右起为棚沢
教授夫妇和笔者，手中拿的就是那份设计图

其性能得到很大改善。但是，正式的设计是由村井等人（后任东北大学高速力学研究所所长）完成的。因为他成功地把轴流式压缩机设计成叶栅式的，而不是单叶式的。

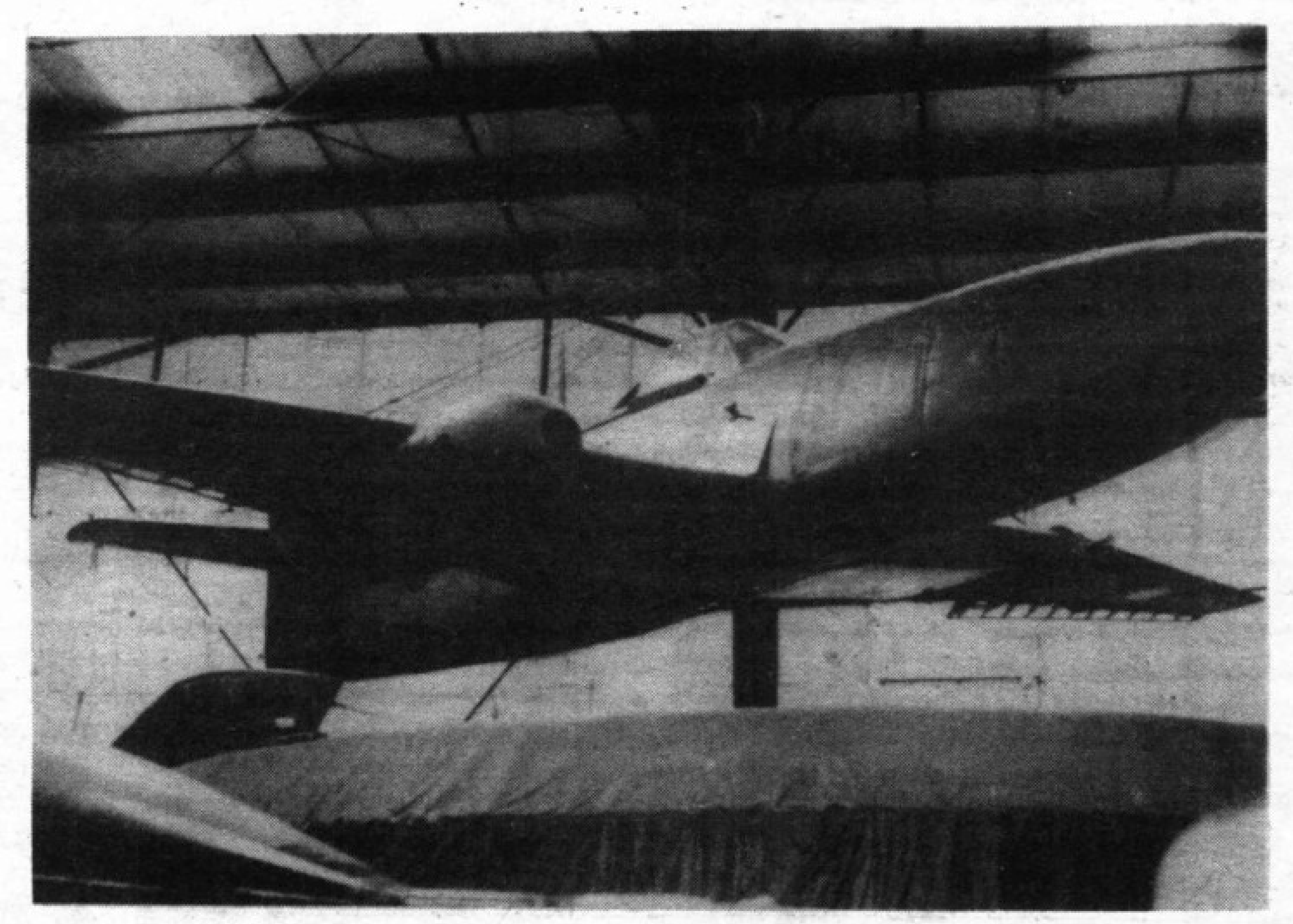
“纳 20”在战后一度被美军拿走，后来又送还日本，现在保存在石川岛播磨重工业株式会社（照片 40－2）。装有“纳 20”的“橘花”号，仅在日本上空飞行了 15 分钟，战争便结束了。“橘花”号经复原后，现保存在斯密索尼安博物馆（照片 40－3）。



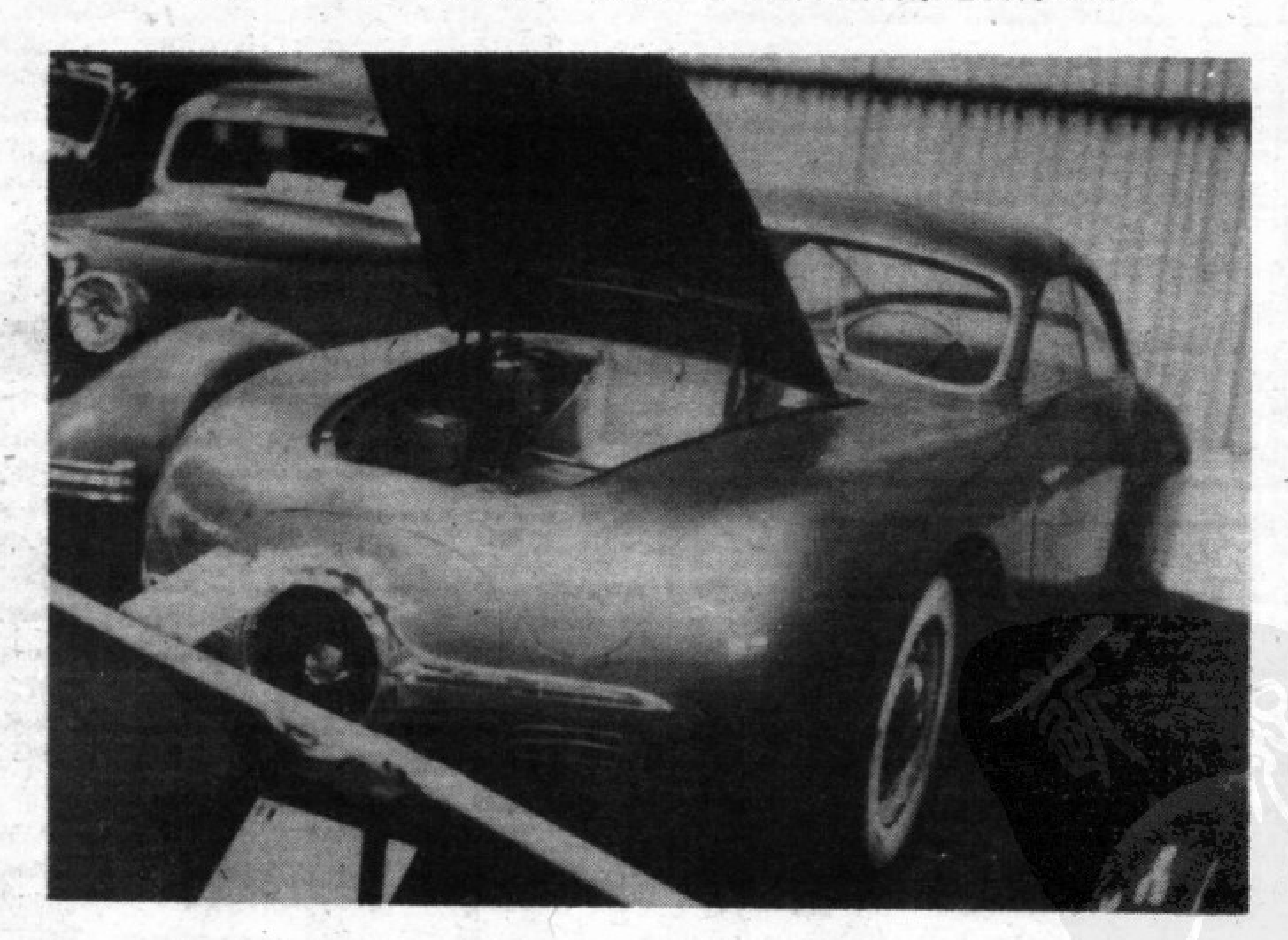
照片40－2 “纳20”发动机的轴流式压缩机叶片的设计者村井教授（左）和笔者站在“纳20”的实物面前

在有名的法国勒芒24小时汽车持久赛博物馆的一角，带有让人联想到喷气式发动机前罩盖，但却又有点象古老汽车的车子引起人们的注意。这是继罗伯之后，作为燃气轮机汽车崭露头角的索塞马·格雷戈娃尔。由于这种“浪荡公子”车开发耗资过大，终于使其“生父”的公司破产了。仿佛他至今仍在瞑思苦想着尚未面世的燃气轮车的出路（照片40－4）。

但是，世界上许多公司都不惜投入巨额的研究经费，反复进行研究，使燃气轮机的技术稳健地向前发展。日野与丰田联合进行了斯特林发动机的研究，设想用于将来的重型载货卡车上。丰



照片40-3　被复原的“橘花”号（藏于斯密索尼安博物馆）



照片40-4　在为往复发动机汽车所包围的氛围里，一个人在冥思苦想。索塞马·格雷戈娃尔车，100hp（勒芒博物馆）





照片40－5　燃气轮机试验车。(上)装有丰田燃气轮机的日野大客车;(下)丰田燃气轮试验车。

田的中村健也先生是总负责。与轿车用的一轴式电动混合式涡轮一起完成了车载行驶，并在1971年和1977年的国际燃气轮会议上发表了研究结果。后来，丰田对该机连同一轴式一起继续进行了研究，现在实车试验仍在踏踏实实地进行着（照片40-5）。

福特公司中止研制燃气轮机的原因

自1953年以来，福特公司一直从事燃气轮机的研究。1966年我访问了福特汽车公司，乘坐了他们的卡车。其先进的造型，豪华的内饰及乘坐舒适性，都是当时的日本车望尘莫及的。

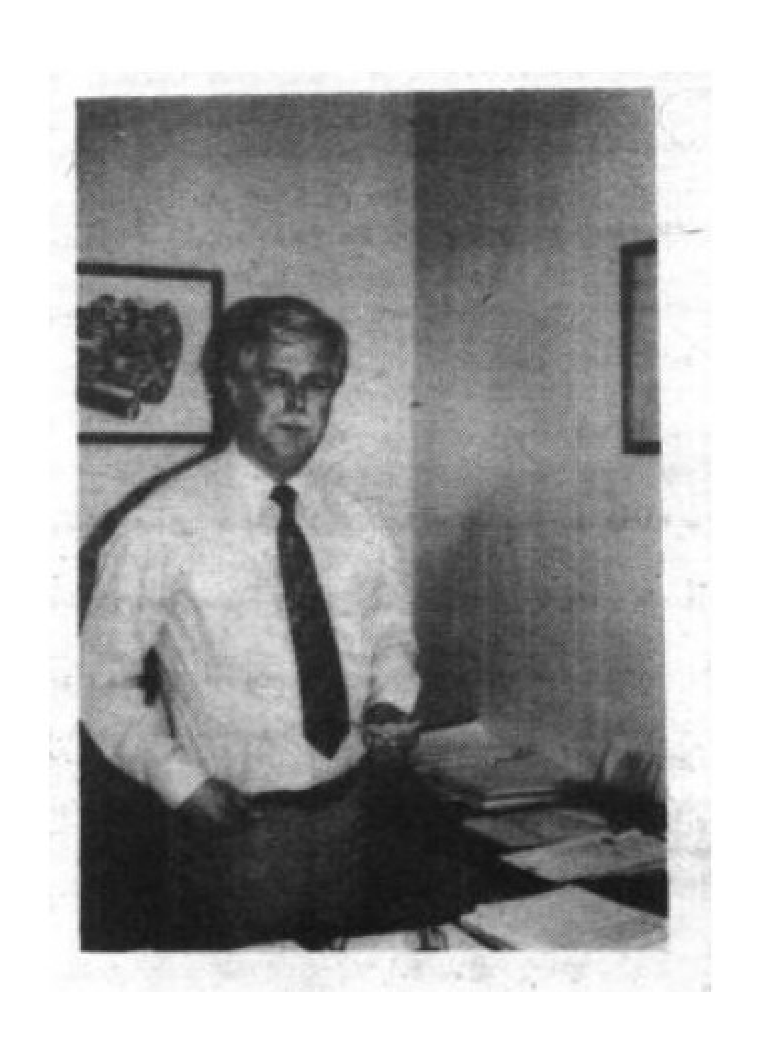
我弄不清楚车室内的设施是干什么用的，于是问道："驾驶座椅后面的小门是干什么用的？答曰：化妆室。但我还是不清楚怎么使用。再三发问，总算明白过来，原来是保温库（照片40-6）。



照片40-6　1966年3月，载货卡车使用如此豪华的燃气轮机使我惊叹不已

福特汽车公司后来集中力量搞载货卡车用燃气轮机，计划于

1974年4月开始批量生产。并且在前一年作为先导生产，制造了200辆燃气轮载货卡车。但是，1973年6月项目突然中止。原因是项目负责人斯沃特曼先生，这位自进公司历来把全部热情都奉献给燃气轮机的先生辞职，在圣迭戈另立门户，继续从事有关方面的研究。1983年我拜访了斯沃特曼先生，在他那挂着GT707型燃气轮机剖面图的房间里，非常热情地向我介绍了把燃气轮机应用到Co－Generation（发电与冷暖气为一体的动力装置）上的情况（照片40－7）。



照片40－7　开发福特707燃气轮机的负责人斯沃特曼先生在他那挂着燃气轮机剖面图的房间里热情地讲起了燃气轮机的应用（1983年）

据丰田公司的主查岩井益美讲，福特中止燃气轮机项目的一个直接原因是因为如果生产燃气轮机就得把生产精度提高一位数，而由于进行了与一般汽车一样的加工，因此发动机的输出功率竟降低了20%，其后果是使运输公司的运行计划落空了。而且，30年代，福特汽车公司对生产普兰特-霍特尼航空发动机所遭到的失败，始终难以忘怀（参考第34章）。

期待着在实用方面的突破

燃气轮机尽管大有前途，但至今未投入使用的最大原因就在于油耗。内燃机是燃烧温度越高，热效率越好。但是，由于燃气轮机是连续燃烧的，所以涡轮的耐热强度有问题。柴油机气缸中的最高温度足有2000℃左右。而燃气轮机涡轮入口温度，即使用

耐热合金，最高温度只能达到1000℃。并且，就是使用陶瓷材料，涡轮入口温度才达1350℃以上，油耗相应地降低20%～30%。

后来，福特汽车公司与加雷特公司联手参加了美国能源厅的项目，目标是研制出涡轮入口温度达1370℃的陶瓷涡轮（单轴式，即如图40-1所示，压缩机与涡轮是一轴的）。通用汽车公司也参加了这个项目，计划研制出双轴式陶瓷涡轮（图A40-1，有两根轴）。图40-2为福特预测的未来发动机的油耗。

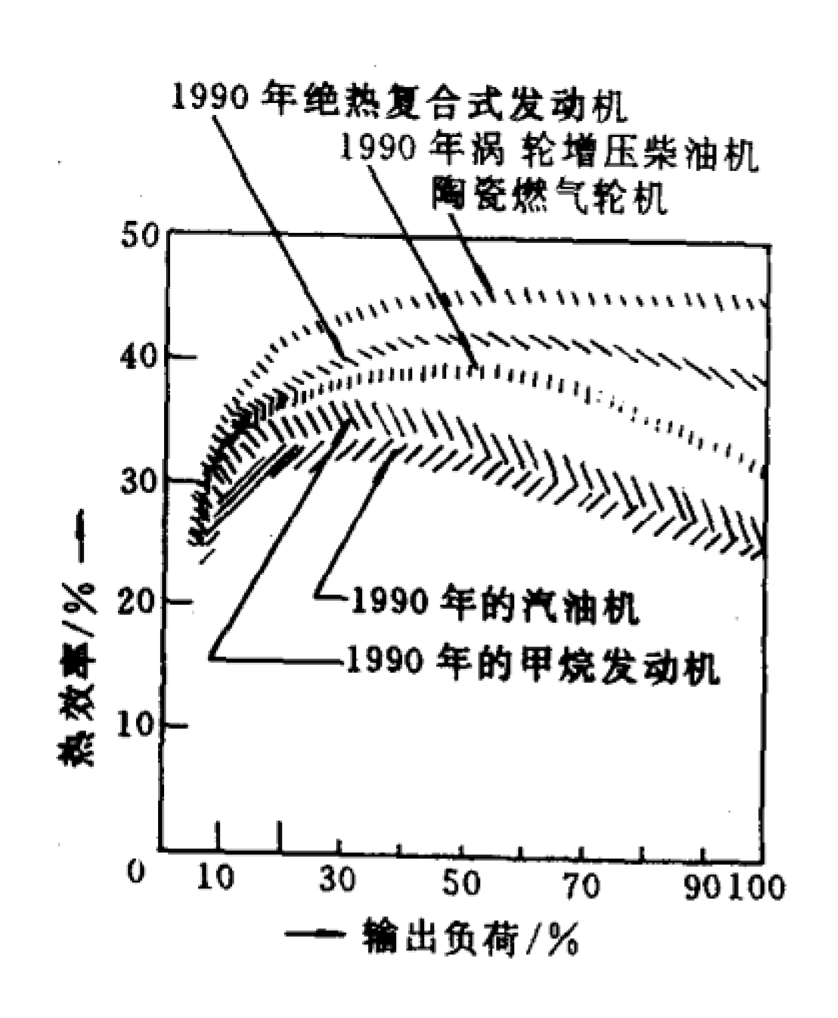
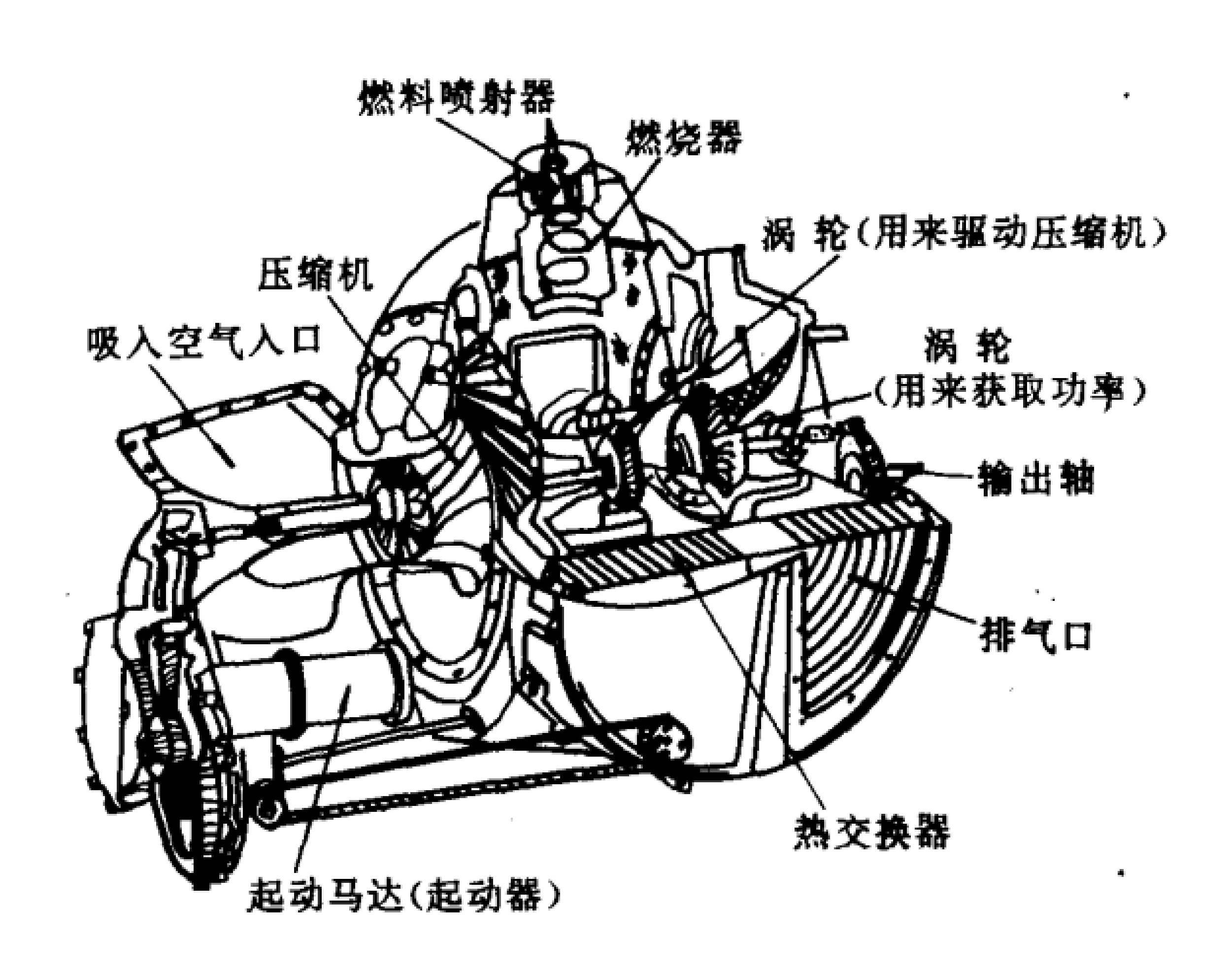


图40-2　福特汽车公司发表的未来发动机的热效率（SAE811377）

涡轮入口温度在60年代的10年中上升了200℃，即平均每年上升20℃（据岩井先生统计）。柴油机的效率也在逐年上升。如果今后燃气轮机的入口温度以这个比率增加的话，不久就会超过柴油机。果真能不负众望吗？虽说技术上尚有许多问题有待克服，但上升趋势是肯定的。并且，还需要某种突破。更期望日本能首先完成这一突破。

附录 A40　日野和丰田联合开发的燃气轮机

图 A40 - 1 为 1969 年以后，日野和丰田联合开发的燃气轮机。现在该发动机由丰田继续进行改进和研究。



图A40 - 1　GT—21 型发动机(1977 年)。
150hp/50000r · min^{-1} (1977 年)



41. 对未来发动机之管见（3）——氢气发动机

能否成为21世纪的先驱？

走向氢气燃料时代

1986年日野汽车工业公司在武藏工业大学的协助下，开发了氢气载货卡车。装用的发动机是该校古浜一教授设计的液态氢直喷式柴油机。同年8月，该车参加了在温哥华万国博览会举办的先进车辆竞技大会，跑完了规定的全部项目（10辆车参赛，只有6辆跑完）。特别是该车的低公害指标引起人们的关注，荣获了“低公害奖”。

今天，人们每天都在消耗大量的能源，其中移动热源几乎都是依靠石化燃料提炼的。现代的学说认为石油和天然气是由于地球上动植物遗骇沉积而成，这种石化燃料迟早会枯竭的。但是，美国康奈尔大学的科德和索塔两位教授认为，它们不是起源于生物，而是地球内部产生的物质。他们的论据是，从本星等大气中的甲烷、金星大气中的碳酸气以及形成行星的陨石含碳量来看，天然气和石油的碳氢是在地壳内部生成，涌出地面的。尽管有这种学说，但是石油及天然气的开采已经转向边远地区和海洋，这是事实。并且碳与氢进行复杂的化合，容易排出有害气体。因此，人们期待着新的代用能源出现。

只要有水就能制造氢。如果能用太阳能分解海水，则是取之不竭，用之不尽的新能源。因此，人们预测21世纪氢气燃料将取代石油燃料而被广泛利用（图41－1）。

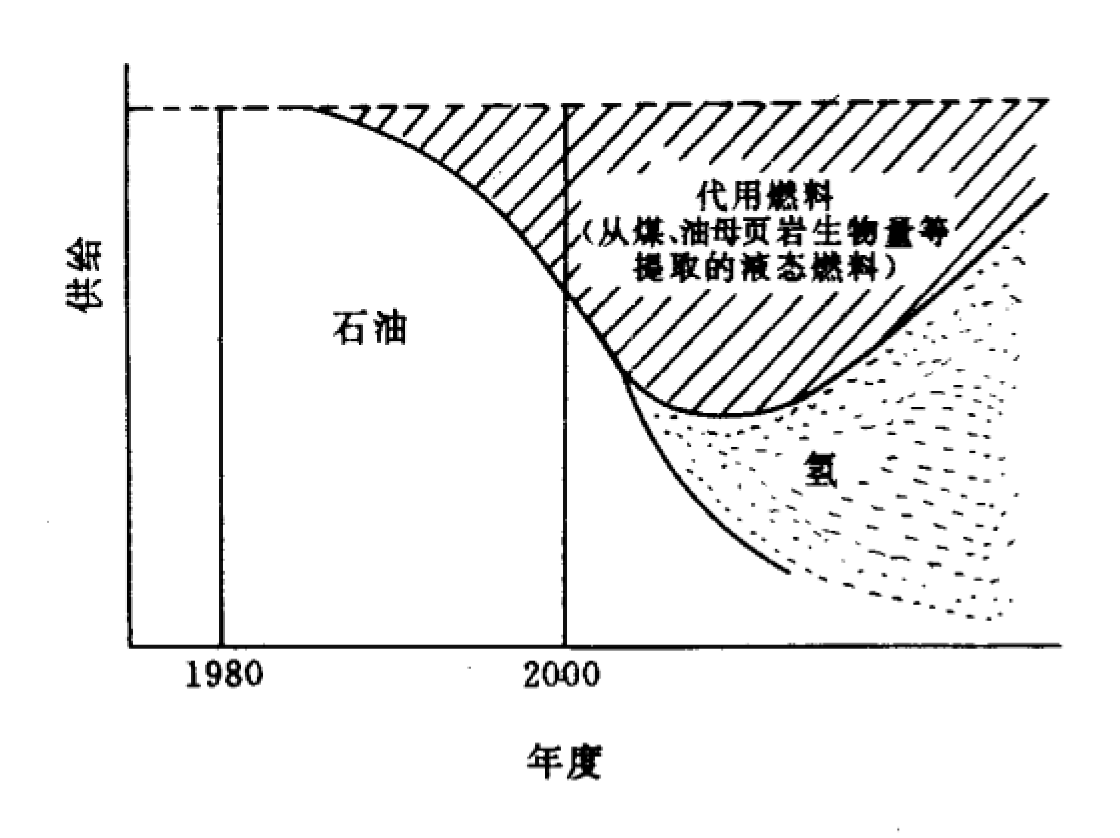


图41－1　交通机械目前仍使用液体燃料，但迟早氢气燃料的时代会到来（资料来源：RLCARDO&CO）

氢气发动机的开发

古浜教授早就着眼于未来时代的发动机——氢气发动机。自1970年以来，他一点一滴地积累了研究成果，1975年在美国举行的SEED（Student Economy Engineered Design）汽车拉力赛上，他的科研成果——氢气汽车首次跑完了2000多公里，使日本的科学界和学术界扬眉吐气。

日野赞同人类的这一宏伟计划。古浜教授后来仍锲而不舍地进行研究，最初是以汽油机作为基础发动机的，现在改为以柴油机为基础发动机的氢气柴油机，基础发动机是由日野提供的3.8L（WO4C型）发动机（见附录A41）。装有氢气发动机的汽车于1986年6月2日，在日野公司举行了发表、披露和试车大会，与会的各界人士都深为感动。该车经过调整后，向温哥华进发（照片41－1）。次年2月，在美国工程师协会上作了氢气柴油机的学术报告，引起很大反响。





照片41－1　1986年6月2日，氢气载货卡车首次在世界上亮相。（上）古浜教授正在说明；（下）氢气载货卡车。利用液化氢汽化时的潜热制作的三种温度的冷藏车。试车表明，氢气汽车无环境污染，使生活更加舒适

当时，氢气发动机在世界上仍是以学术研究为主，从事有关研究的几乎都是各大学或政府机关（日本是工业技术院）。投身这项研究的厂家只有日野和本茨两家。尔后，BMW（宝马）、曼以及马自达公司也参与了。有关方面的研制正在世界各国展开。1993

年度，日本把氢气应用技术的研究，其中包括对氢气汽车的研究，列入了国家级研究项目。

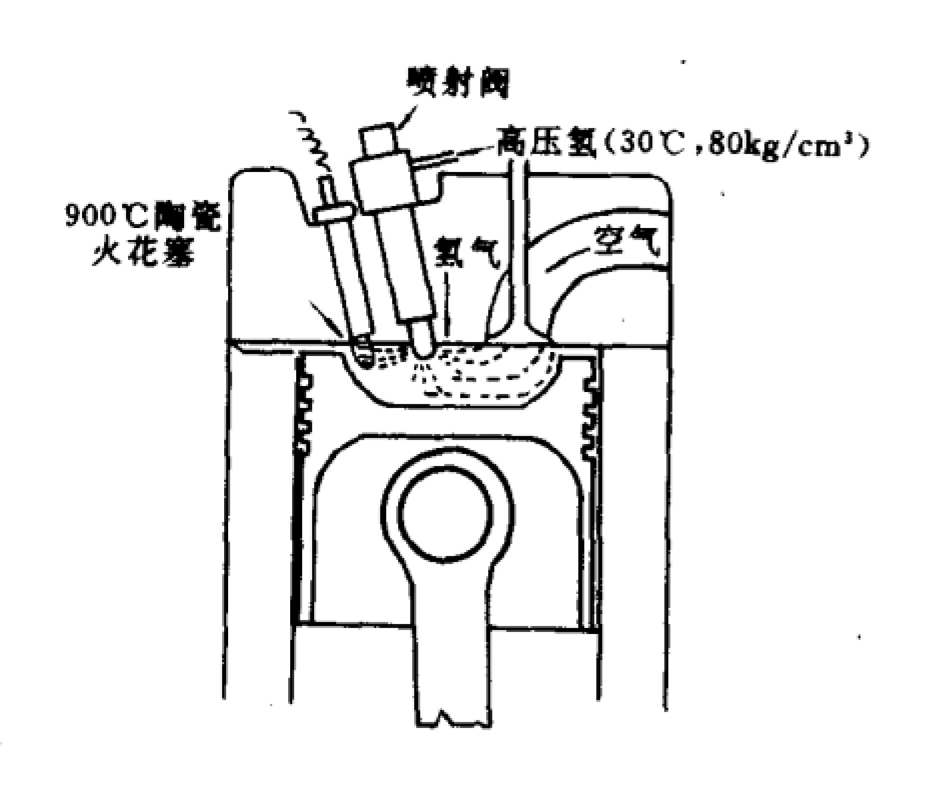


图 A41－1 氢气柴油机原理

附录 A41 氢气柴油机

图 A41 -1 示出氢气柴油机的工作原理。利用大约加热到 900℃的热线点火塞，使从喷射阀喷出的代替轻油的高压氢着火(热线点火塞为陶瓷制棒状塞)。喷射阀的结构如图 A41 - 2 所示，沿用了普通的轻油用喷油泵。把喷射阀用来起动氢气喷射，倒置的这种构思十分巧妙。液态氢贮存在图 A41 - 3 所示的氢气罐内，储存温度为零下 253℃。靠电动泵把它提上来，通过热交换器加热成气态。在 30℃、80 个大气压下被喷入气缸。照片 41 - 1 上的车箱下面的圆筒形物体为氢气罐，发动机的基本规格如表 A41－1 所示。

表 A41－1 氢气柴油机的基本型式

基本发动机型式	WO4C 型（涡轮增压）
缸径×行程	104mm×113mm
排　　量	3839mL
压　缩　比	12
最 高 功 率	135hp/3000r·min^{-1}

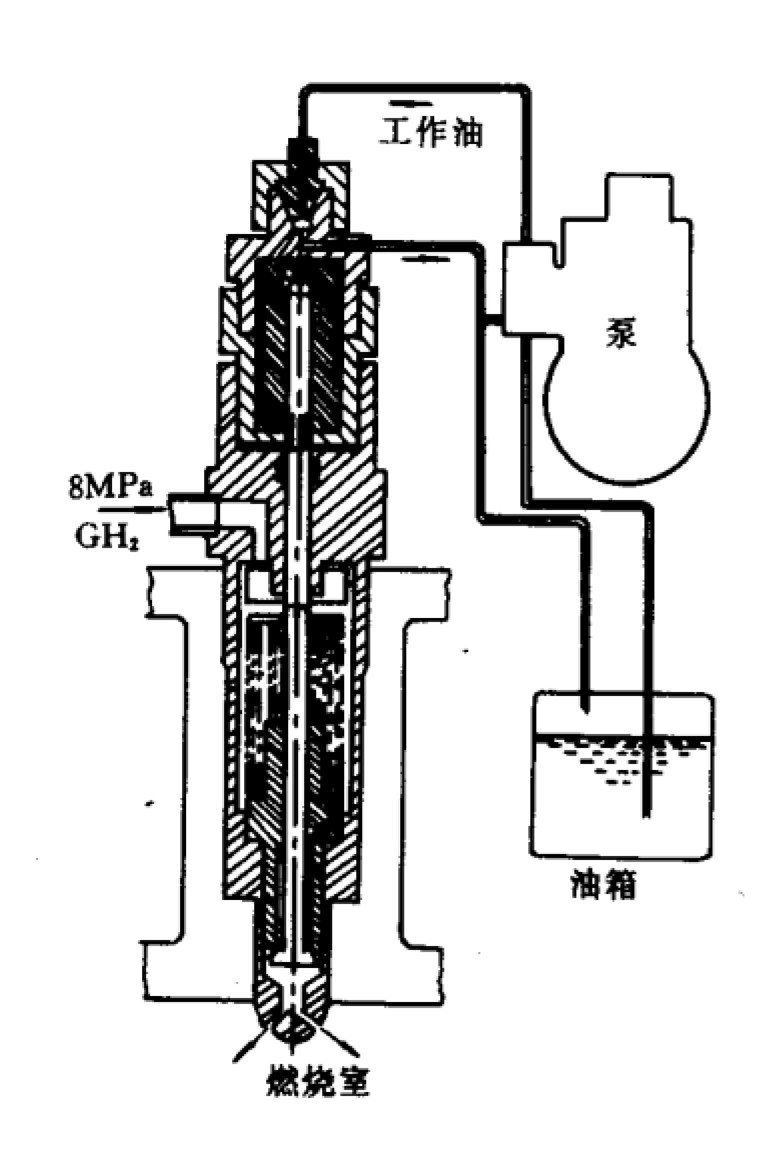


图 A41－2　氢气喷射阀（摘自古滨庄一著《开拓未来的氢气汽车》）

图 A41－3　液态氢气罐

42. 对未来发动机之管见（4）——混合式发动机

能否成为更低公害、更为方便、理想的动力？

使用纯种发动机还是混血儿？

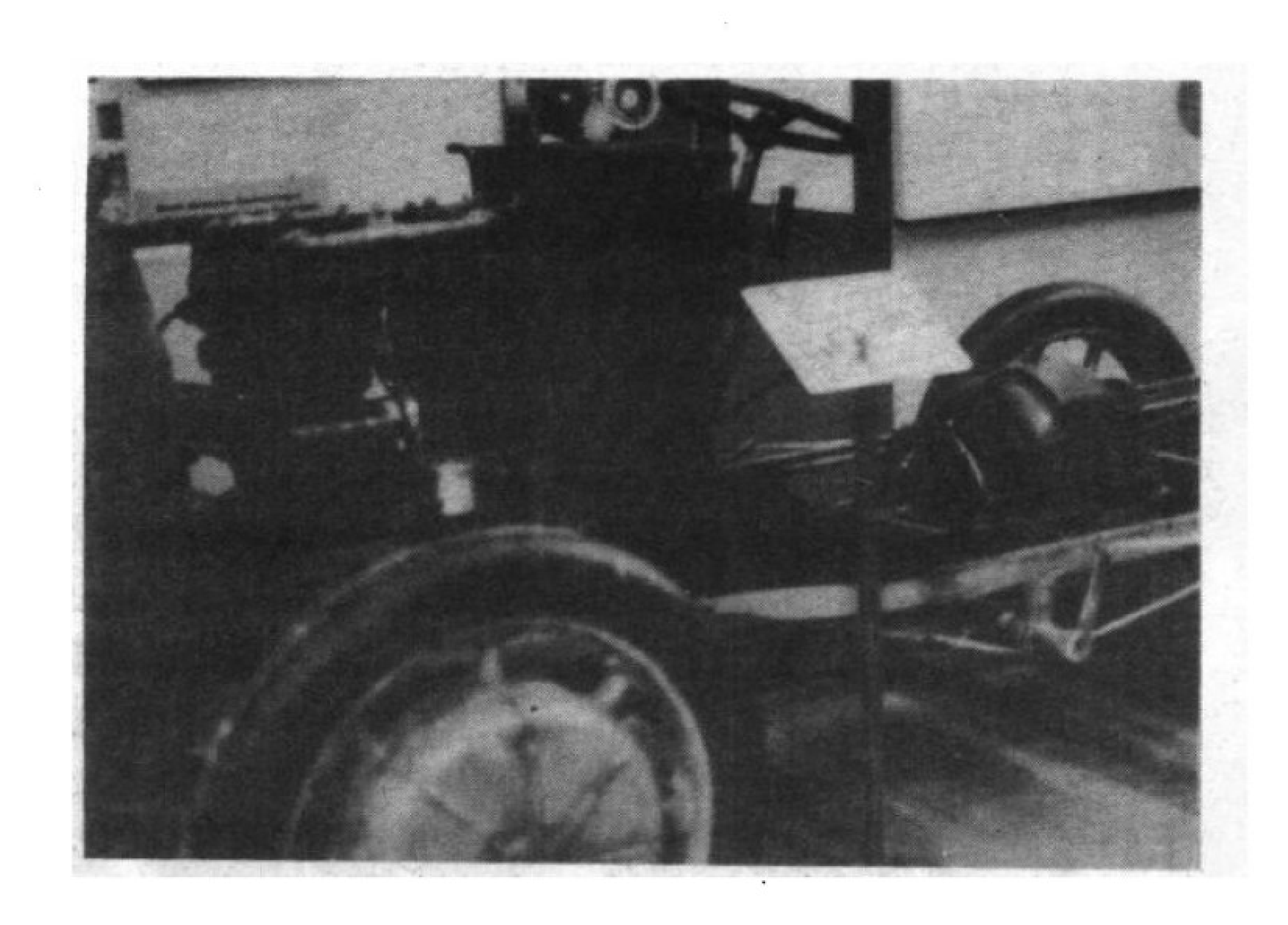
所谓混合式（Hybrid）系指非同种所生之物，即混血儿。一般所说的混合式汽车是指装有两种发动机的汽车。例如，潜水艇在海面上航行时使用柴油机，在水中潜航时则使用电动马达，这种装置在广义上叫做混合式。

近年来，城市内的大气污染相对于郊外来讲是很严重的，因此尝试着在市内利用电动马达行驶，在郊外靠普通发动机行驶。而电动汽车存在的续行距离和输出功率方面的问题，可用普通发动机来弥补。由于这个缘故，近年来风行混合式发动机的开发尝试，其内容有电动马达、汽油发动机、柴油发动机、燃气轮、斯特林发动机和将压缩空气、飞轮等作为机械性能源等等，呈现出百花盛开的景象。

但是，这样混合式发动机基本上都是如上所述潜水艇那样，根据不同情况区分使用发动机。其中，曼公司提出了把机械式的飞轮的旋转部分做成永久磁铁，并使之具有电动机和发电机的储能和释能装置；而日野汽车工业公司则成功地把高性能的发电机兼电动机装入了过去的柴油机飞轮位置，两家都研制出名符其实的混合式发动机，即成功地开发了使两个原理同时作用的原动机。日野的混合式发动机已经在几十辆市内的大客车和若干辆市内收货和送货的载货汽车上应用，下面就以之为中心，加以说明。

走出低谷的 HIMR

混合式发动机的构想，相当久远。1896 年波尔舍汽车公司取得了电动马达和汽油机的混合式专利。照片 42 - 1 为洛内 · 波尔舍的汽油-电动混合式汽车。发电机布置在一般汽油车驾驶室的后面，靠发动机直接驱动来发电，其电力通过控制器驱动装在前轮轮毂内的电动机。



照片42 - 1　洛内 · 波尔舍的汽油-电动混合汽车（1901～1906 年）。波尔舍在杰科布 · 洛内公司制作的，用 4 缸、16hp、戴姆勒公司制的汽油机直接驱动 10kW 的发电机，再靠这一电力驱动装在前轮内的 4 极电动机（维也纳技术博物馆）

二战中波尔舍企图在用大车轮硬行开发的蒂克尔坦克上采用这种混合方式，与苏联的 T34 坦克抗衡，但未能如愿。战后也有人进行过混合式发动机的尝试，但是，由于难以获得与其复杂结构、昂贵价格相符的优越性，因此所有的尝试也不过是浅尝辙止

罢了。近年来，排气净化的法规越来越严格，因而各地都进行了类似的尝试，尤其作为城市型的大气净化措施之一，突然引人注目。

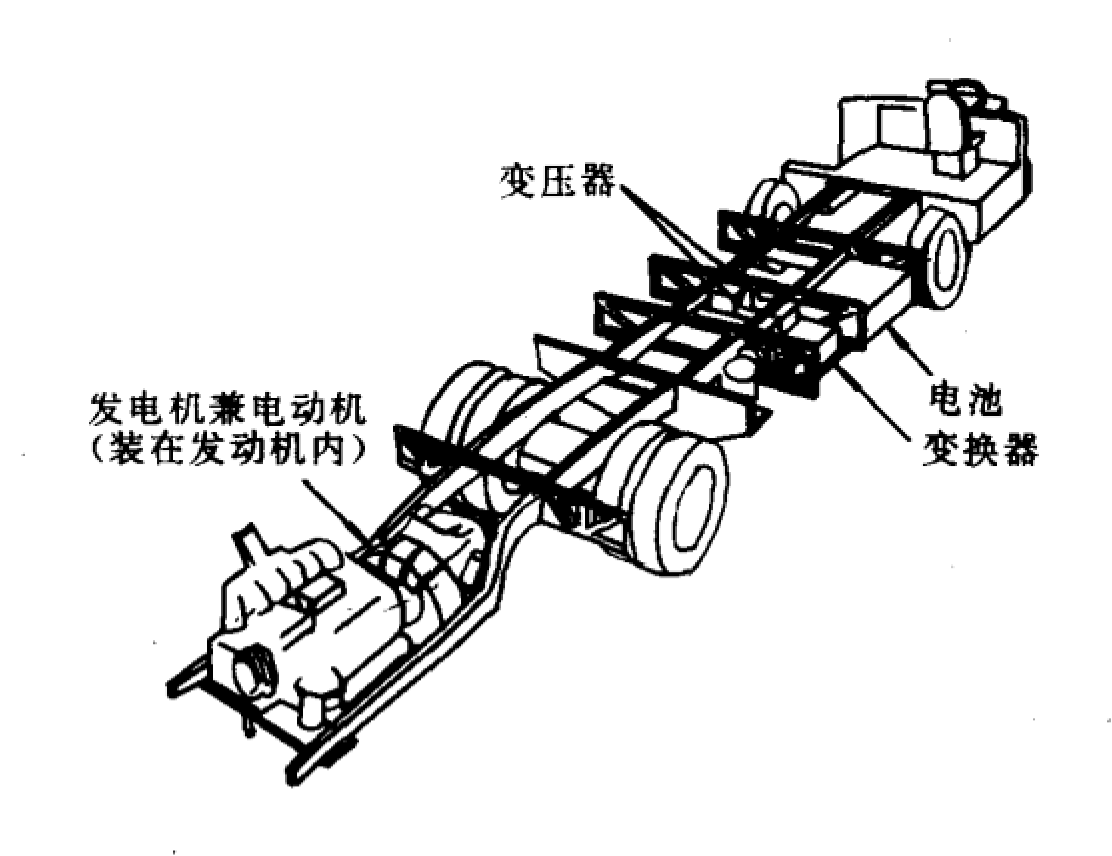
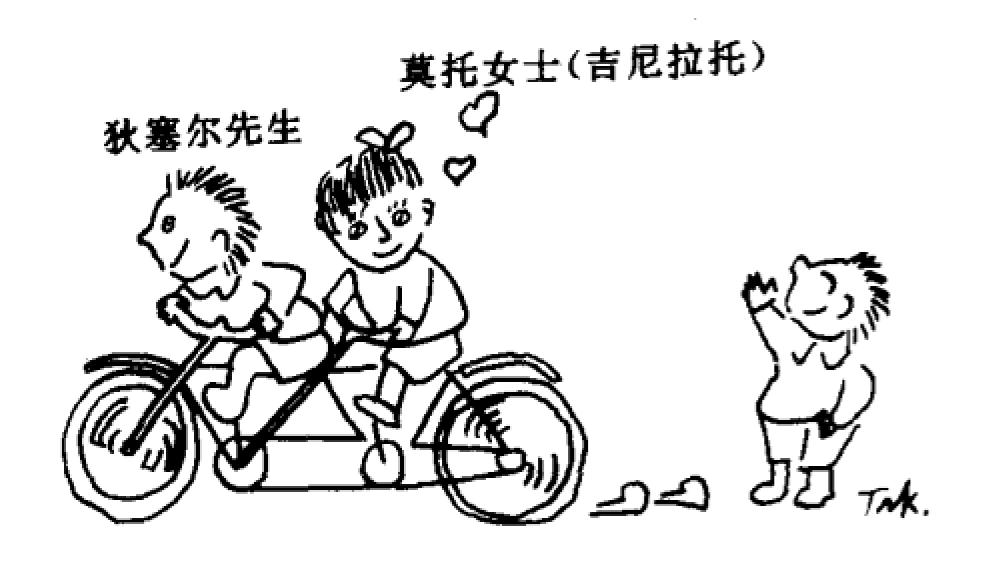


图42－1 HIMR 大客车的底盘结构。发电机兼电动机装在发动机内，变换器也布置在里边

日野的混合式发动机叫做 HIMR（Hybrid Inverter Controlled Motor and Retarder），如图 42－1 所示，其发动机的外观与普通的柴油机并无二致，但里面藏有超薄型发电机兼电动机。因此，它是由内藏的电机和柴油机一起工作，从同一输出功率轴获得必要的动力。但是，当汽车行驶缓慢时，因为输出功率小，排气也少，因此只靠柴油机的动力行驶。图 42－2 示出其概念。

另外，停车时，反过来由车轮回收制动能，接着把电动机作为发电机使用，发电的能量储存在电池里，以备下一步起步使用，当电池里储存的能量减少时，根据计算机的指令，由柴油机自动充电，即完成了真正意义上的混合。

因此，如图 42－3 所示，NO_x、黑烟、CO_2，即燃油消耗率、噪声以及由于制动时的制动能回收，作为汽车的制动性能等都进一步提高了。不过，和过去的混合式一样，尽管控制方便了，但



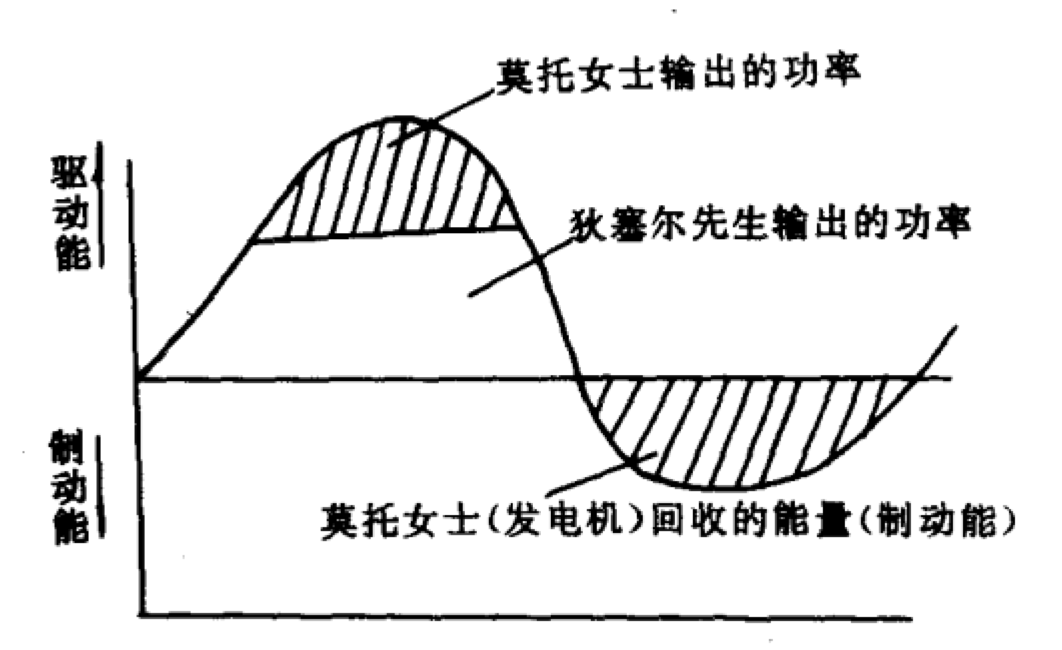


图42-2 HIMR的混合系统。电动机与柴油机共同工作，制动时从车轮回收制动能，存储在电池里备用

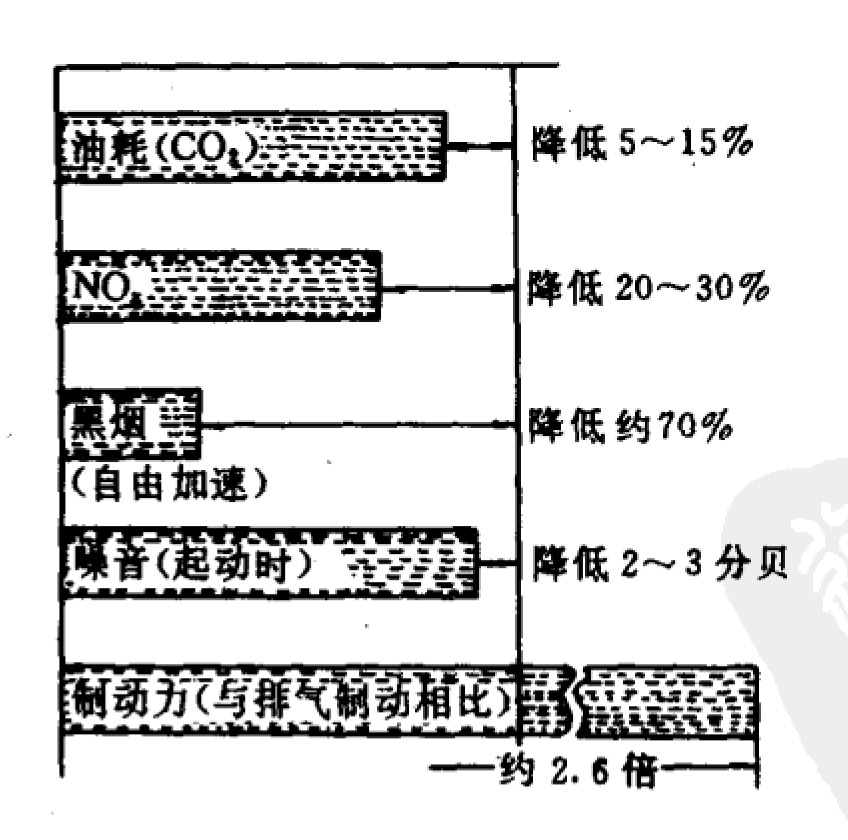


图 42-3 HIMR的环境净化和安全效果

是结构复杂、价格昂贵的问题依然没有改变。如果能认识到环保措施是社会活动的前提，那么混合式发动机作为社会活动的一环，是很有发展价值的。

克服重重困难，开发出变换器



图 42 - 4　模型顺利地转动了，但实机却怎么也不动弹

然而，日野公司开发超薄型的发电机兼电动机（三相交流电机）以及起着从电池里存取其能量作用的变换器，花费了大约 10 年时间。在最初阶段，为了制作成超薄型，曾设想开发进行特殊控制的电动机(称作电容转换共振形),并从缩小比例模型起步了。模型极其顺利地转动了，自以为这不是哥伦布的鸡蛋吗？放心大胆地转入了实机试验。然而，实机却怎么也不动弹（图 42 - 4）。重温了交流电机的基础知识，重新认识控制，并试着投入了非晶体等新材料，但壁垒森严，开发工作毫无进展。大家认为样机实验之所以失败，是因为没有很好地把握比例变化的特性值，判断实机之所以进退维谷，是因为回转装置及其控制技术不足所致。就这样，五年的时间一晃而过。

为了寻找良策，我们敲响了东芝公司的大门。但是，东芝的技术部门听了我们的说明，反应冷淡，说哪能制造出这种交流电机呢。不管三七二十一，我们决定先把东芝的技术人员请来，请他们从转动良好的模型，到非晶体制的交流电机的破破烂烂的残骸统统看一遍，彼此之间产生了共鸣。他们对我们说："好吧，干干看！"但是，难啃的骨头，这一点是一如既往的。时间毫不留情地过去了。

有一天，我终于接到了"变换器完成了，请来看看"的报告，我兴冲冲地赶到现场。然而，看了实物，顿时心凉半截。变换器竟是个庞然大物，可装满一辆 4 吨载货汽车（图 42 - 5）。不过，负责人倒是信心十足。我只说了声："今后要小型化"，便离开了现场。后来，由于使用东芝开发的大功率晶体管，这个妖怪般的变换器象中了魔法似的，缩小了。



图 42 - 5　制作出来的变换器竟能装满一车（4 吨载货汽车）

1990 年岁末，世界环保高级会议在东京召开。HIMR 因得到后来的自治大臣吹田愰先生的赏识，奉召在国会议事堂前亮相，获得了作为青年技术者集体的浪漫与追求的盛大礼遇。



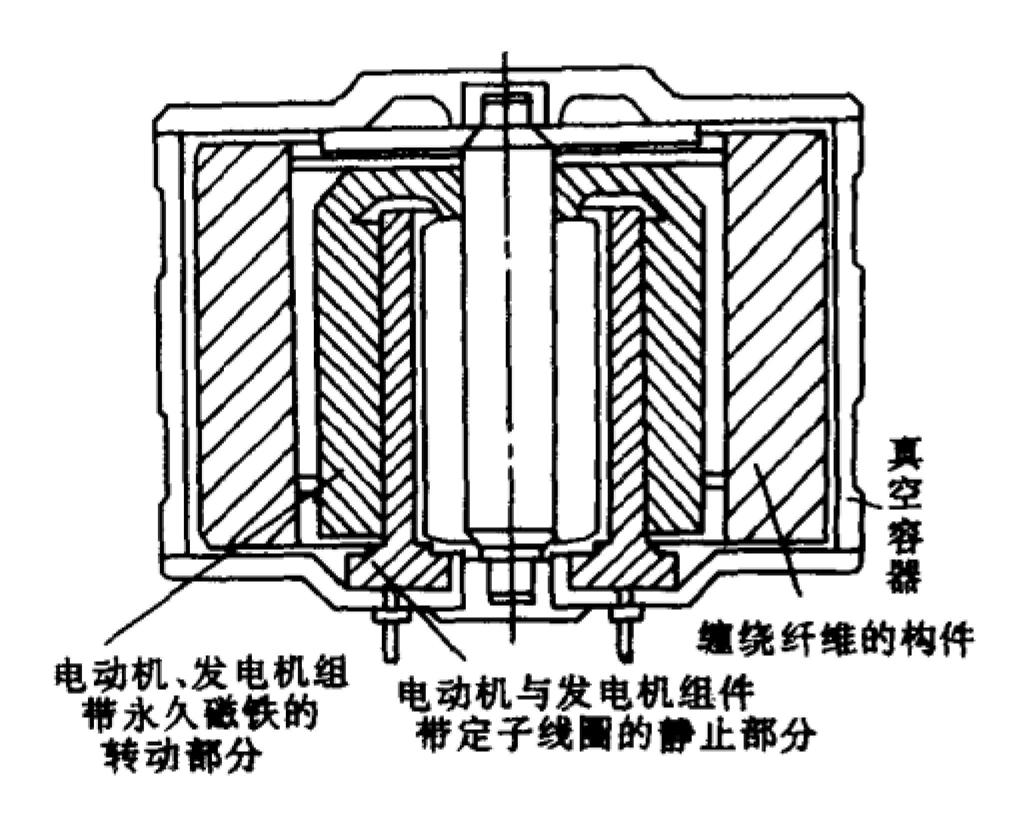
照片 42－2　无烟、无噪声的 HIMR 大客车从国会议员们的面前驶过

今后的混合式发动机

混合式发动机极有望成为既不损害人类已获得的方便，又能保持美好环境的机械。但是，其结构复杂、价格昂贵这一点将来必须改善。由于电子技术的发展，它的控制将更加适宜，与电动机及其它原动机的组合，看来大有希望。

作为能量的储存装置，曼公司开发出如图 42－6 所示的独具匠心的结构，势头良好，而电池的进步也大有希望。相配合的原动机，即内燃机，如汽油机、柴油机、燃气轮等，暂时还是主力发动机。根据用途，燃料电池，还有后述的触媒发动机与燃料电池的组合等，各种课题都将在批量生产过程中得到改善。

文中提到的燃料电池，简单地说是指如下电池。例如，给水通电流，水就电解为氢（H_2）和氧（O_2）。反过来，可开发出使氢



照片42 - 6　曼公司的能量存取装置（出处：Zilinka. R. Guteh of fnungshutte MAN 1989/1990 年）

和氧发生反应生成水，同时获得电能的装置，这个装置就是燃料电池。作为它的应用实例，例如只要把水通入石绵铁，使氢分离，以此来运转燃料电池。人们正在研究把它与电动机组合的混合式发动机等理想的发动机作为下世纪的动力。

43. 面向未来——下一代发动机是什么样的？

现在的主力发动机与代用发动机之比较

我们已经窥视了三种代用发动机（斯特林发动机、燃气轮发动机和氢气发动机）及混合式发动机。不过，现在作为车用的发动机，轿车是汽油机，商用车这块阵地是由柴油机稳坐江山。其理由是，第一，如图 43 - 1 所示，能量密度（发动机单位重量的

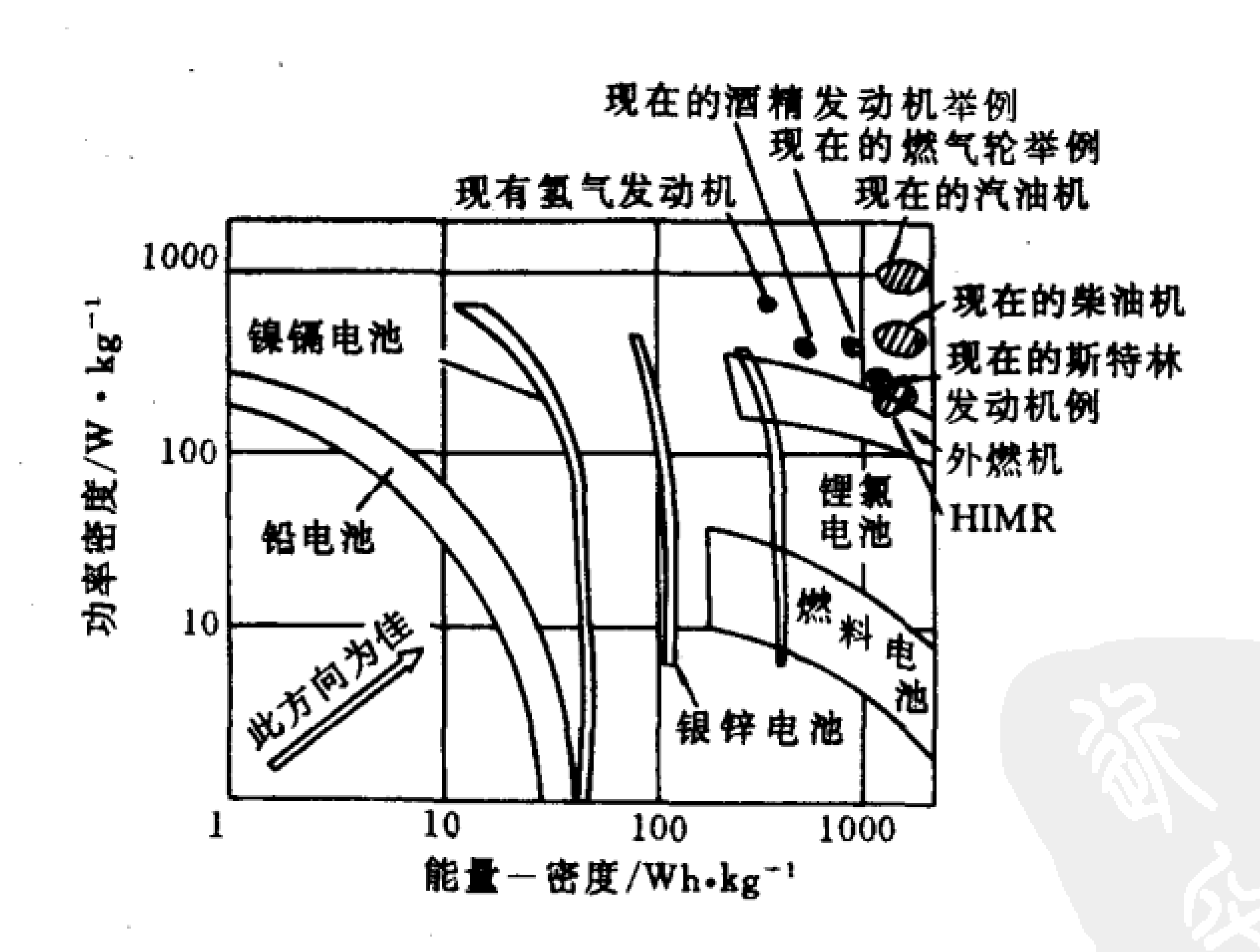


图43 - 1　车辆用各种动力源的能量密度与功率密度，以通产省“电动汽车的研究开发”的资料为基础，还补充了实例

瓦特小时）和功率密度（发动机单位重量的功率）都高于其它代用发动机一个档次。作为交通工具，这是非常重要的特性。

另外，尽管柴油机比汽油机的功率密度小，但因为它油耗低、耐久性好，而为商用车所采用。如前所述，根据行驶工况，有时柴油机的油耗只有汽油机的60%左右（参照第33章）。另一方面，柴油机的寿命也在直线上升（参考第8章）。

而且，重要的是，如图43-2所示，例如燃油费用在柴油载货卡车的生命周期成本（从购入到报废的全部成本）中占的比例不断增大，近年来已经超过70%。其原因第一是因为车辆和发动机的寿命大幅度地提高；第二是因为燃料费用增加。成本已经纳入物流经济，例如直接送货上门的服务车的价格也从这里支出。代用发动机很难一朝一夕就能形成足以革新这种物流网的优势。

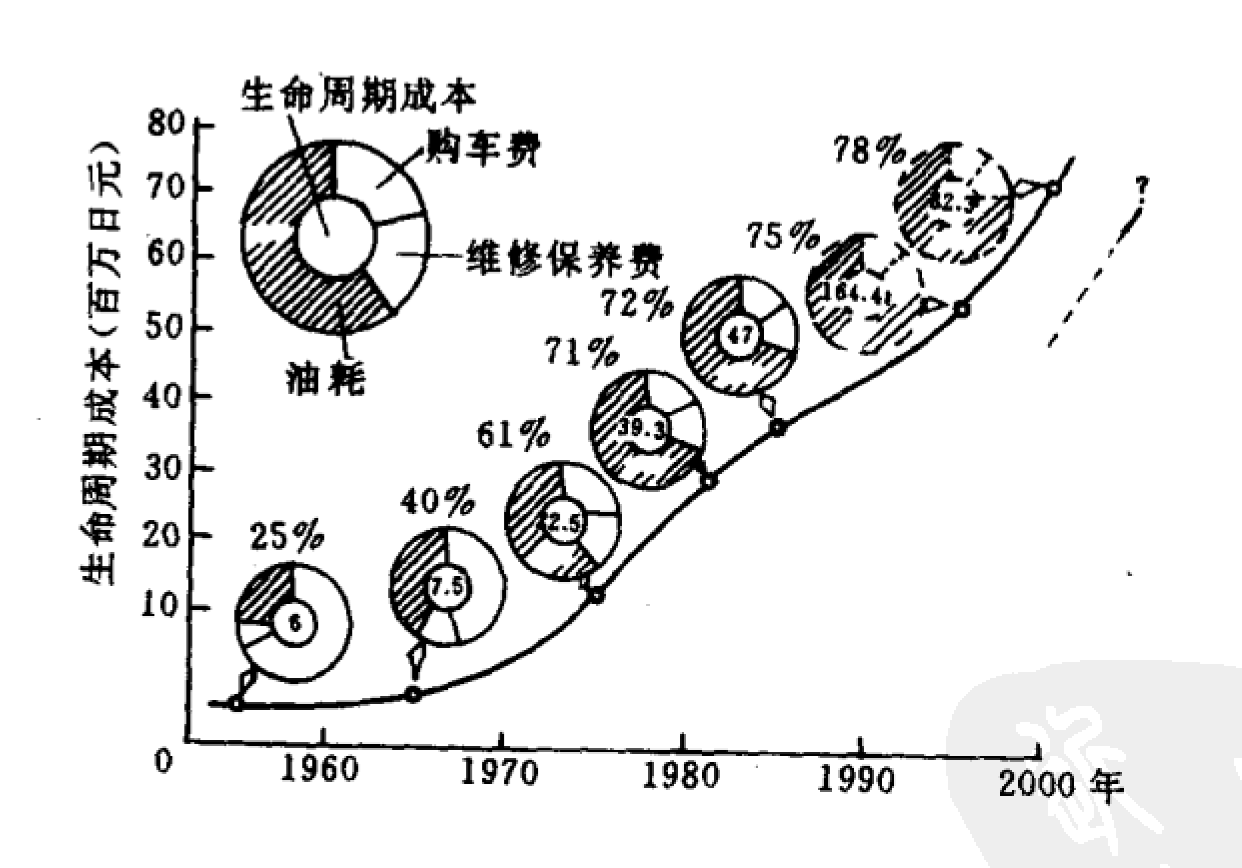


图43-2 柴油载货卡车的生命周期成本。燃料费的比例不断上长

三大公害

另一方面，现在的内燃机迅速发展，它产生的，即人为制造的马力是巨大的（图 43 - 3），因此排放出的气体当然也是大量的。例如，如图 43 - 4 所示，氮氧化物的排放量迅速增加。图中虚线是设想近年来由于采取排气规制，其排放量在减少，而实际上由于受发展中国家发展工业的影响等原因，并未减少氮氧化物的排放量，则如实线所示。

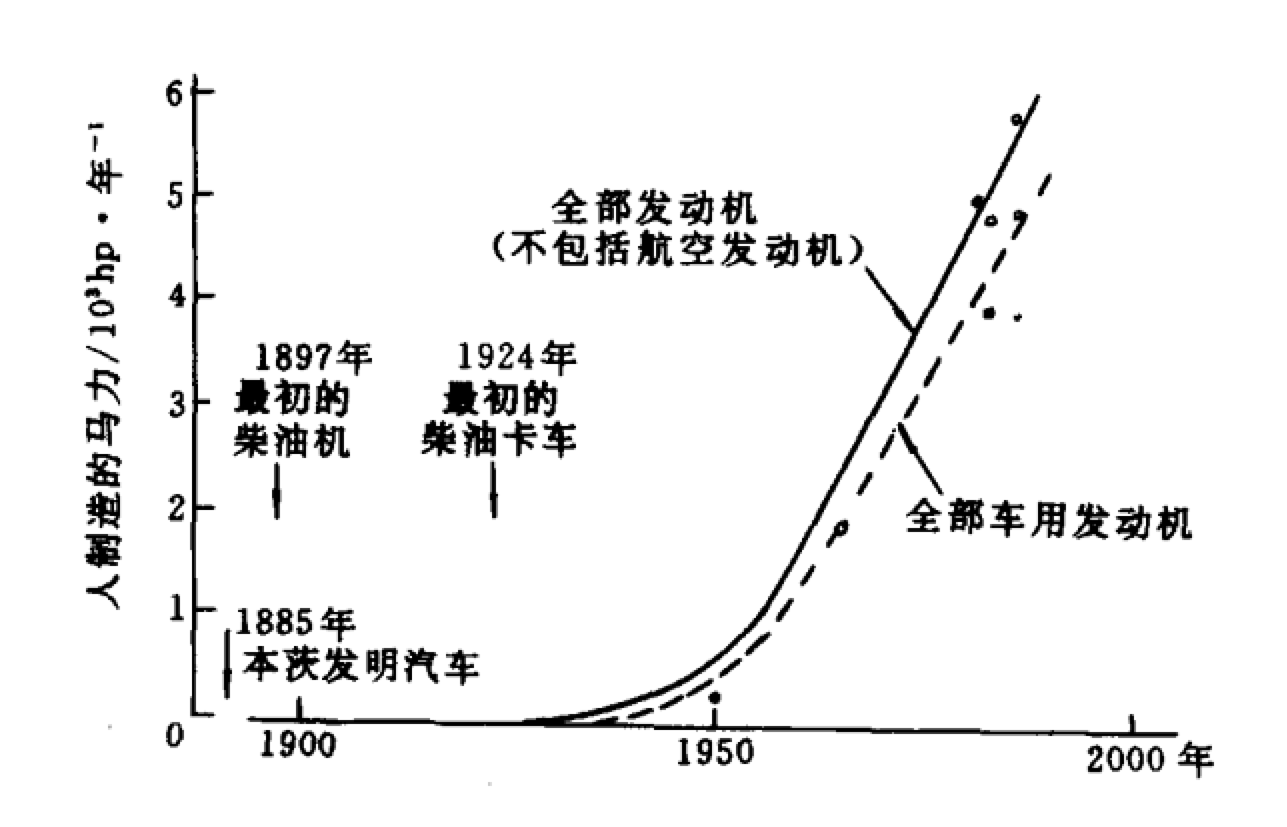


图 43 - 3　人类制造的马力在剧增

不过，如此大的氮氧化物量与地球上自然发生量相比，相差仍很悬殊，如图 43 - 4 示。在自然界里，由于细菌等的作用，生成大量的氮氧化物。问题是人工生成的氮氧化物集中在城市。不管怎样，还应呼吁进一步减少人工形成的氮氧化物的排放量。特别是柴油机，虽已降至未实施限制时的 40%，但与轿车用汽油机的氮氧化物排放量减少到 10%相比，还需进一步努力。

、柴油机排气的另一个问题是微粒，即颗粒状物质。排气中含有产生烟的碳粒子。各种形状的碳化氢（这也叫做微粒）附在这种碳粒子上。据说，其中一部分含有致癌物质。细菌试验等所谓

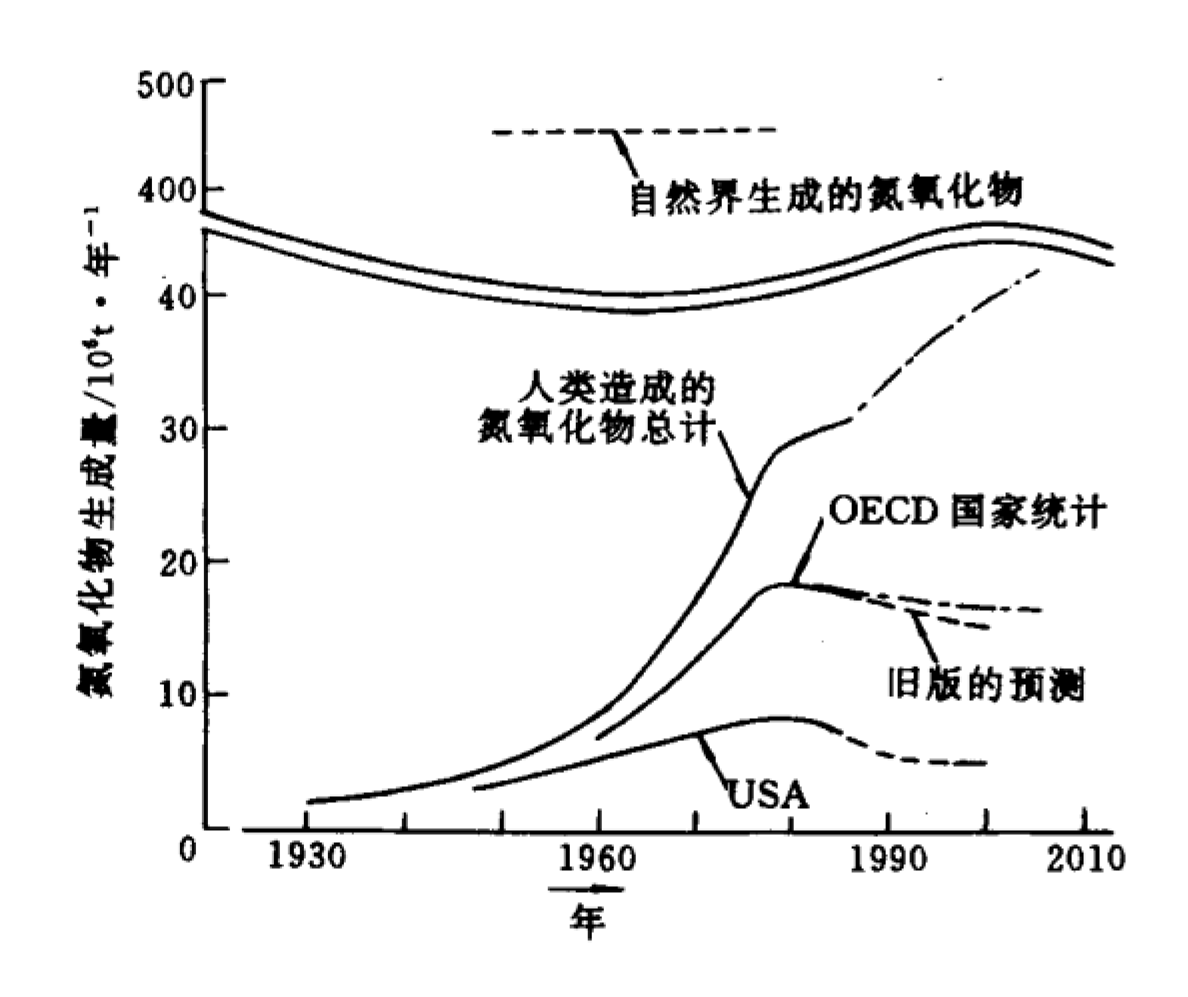


图 43 - 4　由汽车产生的氮氧化物（NO）（按 OECD1991 年推测）

生物实验尚未明确微粒对人类健康有多大影响。但是，正因为不明确，才不能掉以轻心。对于疑点，必须采取措施。措施的核心是改善燃烧状况，而改善燃烧状况的重点，如前所述，就是要改进燃油和空气的混合比（参考第 15 章）。

然而，如果要降低氮氧化物，微粒就会增加，功率就要下降，如果要想提高功率，那么微粒和氮氧化物都会增加。因而，尽管采取了各种措施，但有的对这个方面有利，有的对那个方面有利，很复杂（图 43 - 5）。全世界的柴油机工作者都全力以赴，致力于解决这个难题（图 43 - 6），其目标是实现目前各国制定的下一阶段的限制值。日本进一步扩展了这一目标，在基础技术开发促进中心的援助下，1987 年开始了对下一代原动机概念的研究。由柴油机制造厂家和零部件制造厂家等出资并派研究员设立的研究公司——新燃烧系统研究所（ACE）进行有关方面的研究，并获得了有关柴油机燃烧的极其重要的、先进的研究成果。

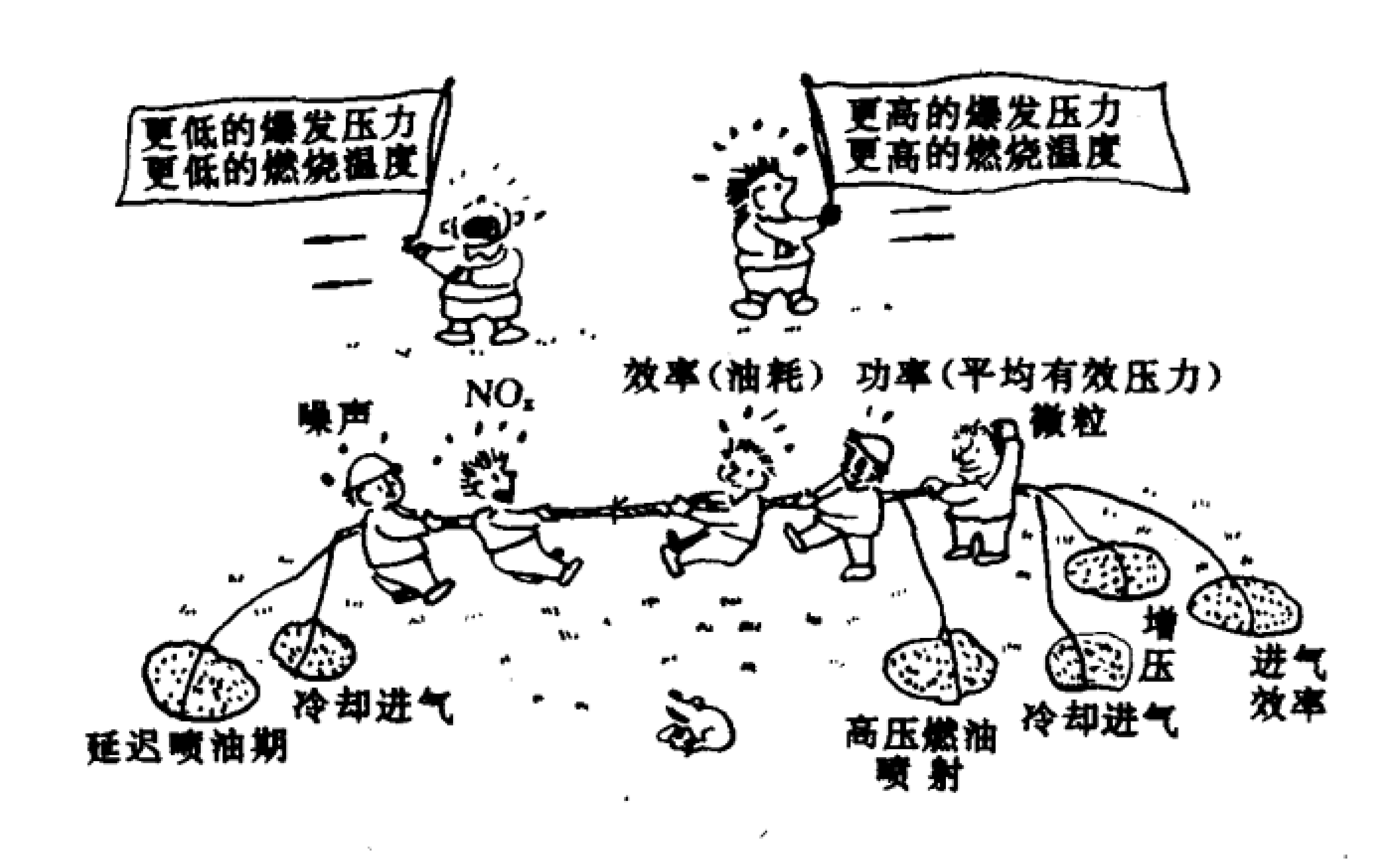


图 43 - 5　在改善柴油机的进程中充满矛盾，其对策有利还是无利？

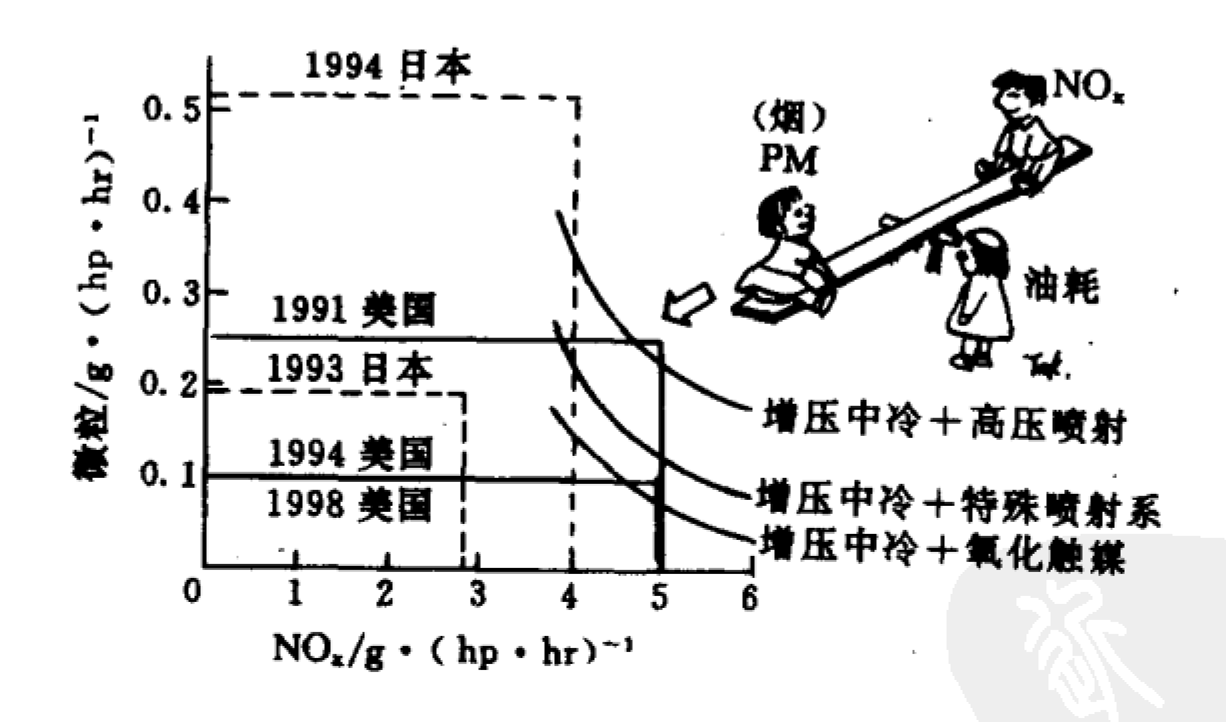
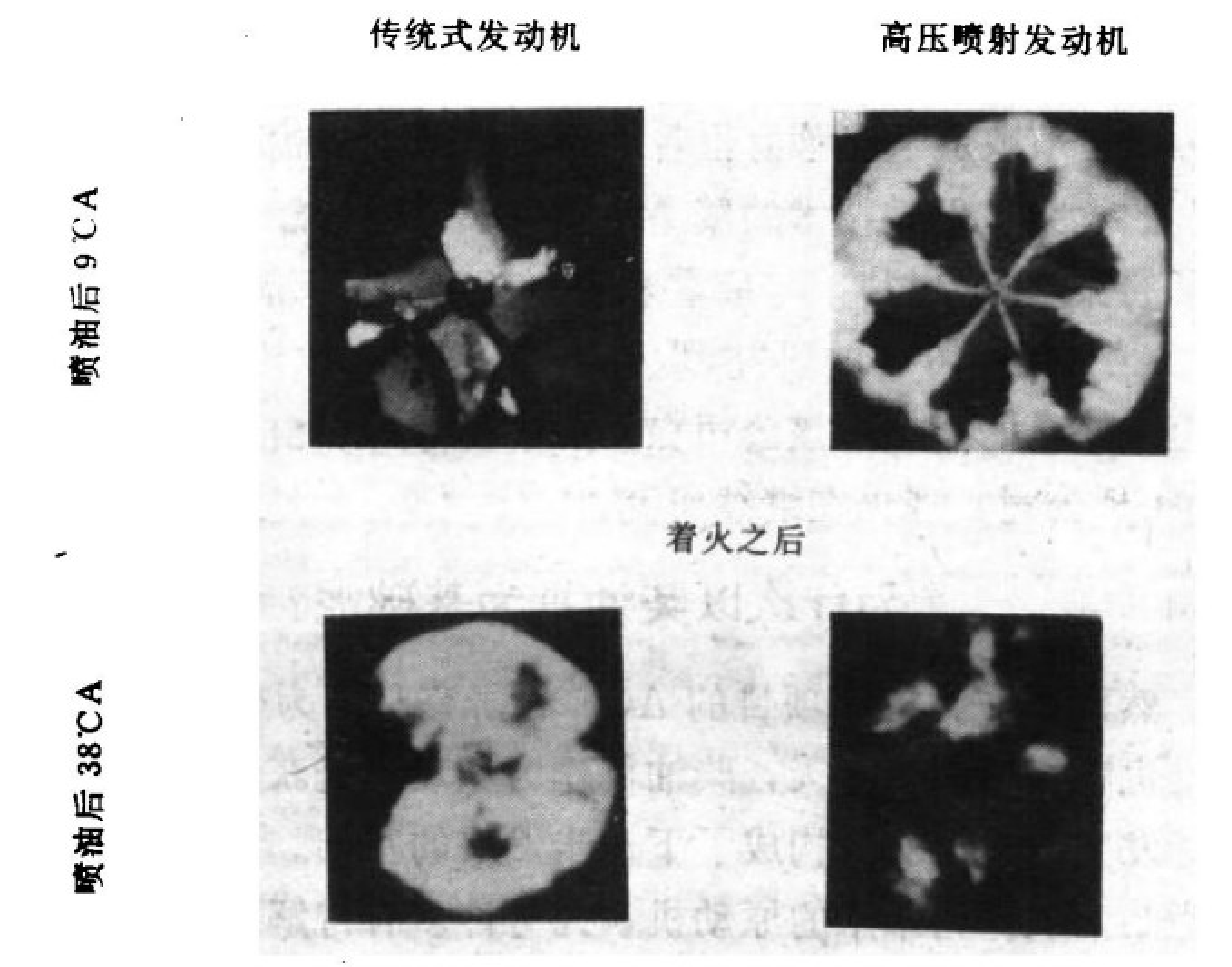


图43 - 6　NOx 与微粒反相。为使两者都达到限制值，各国都在努力进行研究

ACE（新燃烧系统研究所）的
燃烧研究成果、不同形态的燃烧

ACE 的燃烧研究，基本上是对超高压喷油的发动机的燃烧研究。通过研究，一举澄清了过去一直窃窃私语的“高压化似乎更好”的一部分人的见解。下面简单介绍一下有关内容。



照片 43 - 1　高压燃烧的燃烧形态与众不同，燃烧后期的未燃黑烟荡然无存

照片 43 - 1 为传统的柴油机的燃烧与 ACE 进行高压燃油喷射的燃烧照片之比较。究竟实际的柴油机是怎样燃烧的呢？1977 年，将实用发动机的整个燃烧室纳入视野，进行了观察。此后，人们得知，柴油机的燃烧状况如照片所示，所喷出的燃油喷雾由于气缸内的气流而发生紊乱（涡流），从被搅乱了的喷雾侧部，正好是从易于燃烧状态（空气与燃油正好反应的量，即理论混合气）之处着火，依次扩大燃烧，这是一般常识。然而，如果把燃油喷射压力变成高压（大约 150MPa、1500 个大气压以上），则不象照片

所示地在燃油喷雾附近着火，而是从喷雾的前端，即从燃烧室外周附近着火，然后迅速蔓延开来。结果，燃烧速度大幅度地增加。从照片也能想象得到，获得了几乎无排烟和微粒的燃烧。过去为 NO_x 和微粒左右为难，如今其中之一难已得到解决。

ACE 仍紧追不放，尝试了高压导向喷射。不仅提高了燃油的喷射压力，而且在主喷射之前，就先把占总喷射量百分之几的燃油喷射了。这样一来，过去在一定界限以下就顽固地不肯下降的 NO_x，节节败退了。脑海里曾闪现了“这不是找到解决的措施了吗”的念头。但是技术的壁垒不是那么轻易就能攻克的。一度消失了的排烟（微粒），与最重要的油耗却又一起恶化了。

ACE 通过 6 年的研究，取得了丰硕的成果(附录 A43 - 1)。为了追求更高的目标，该公司在发展中解体后，由民间出资成立了新 ACE 公司，现仍在继续研究。

为什么以柴油机为基础呢？

然而，作为国家项目的 ACE 的研究基础为什么选定了柴油发动机呢？是因为今天，柴油机作为原动机是获得最大热效率的最终发明，它自然就构成了下一步发展的基础。另一方面，也是因为柴油机作为未来的原动机，拥有许多有待解决的课题。

图 43 - 7 示出了各种发动机发明的年代及其热效率。从图中可见前人是怎样珍惜使用资源的。不滥用地球的资源，将消费控制在最小限度，不破坏自然这是铁的原则。采用熵增加的形式既未造成混乱，又使用了能量。从这种意义上讲，发动机的根本，应是最小限度地控制熵的增加。

与排气净化并驾齐驱的另一个大问题是噪声。汽车的噪声如图 43 - 8 所示，日本将汽车噪声控制在最低限值。从载货汽车来看，已达到以往轿车的水平，但是轿车本身的噪声限值又降低了，因此载货汽车也得随之降低，并正在拼命地为此作出努力。

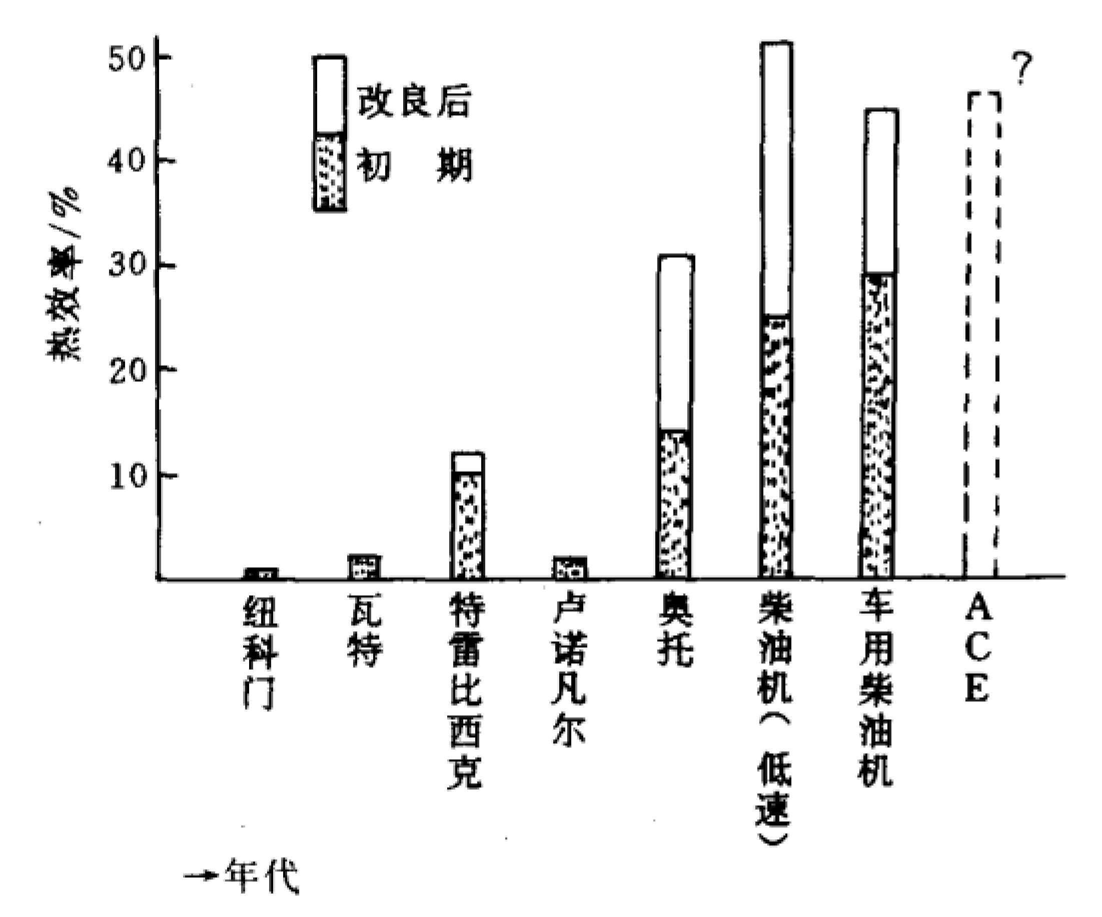


图 43－7 各种发动机的发明时期及热效率

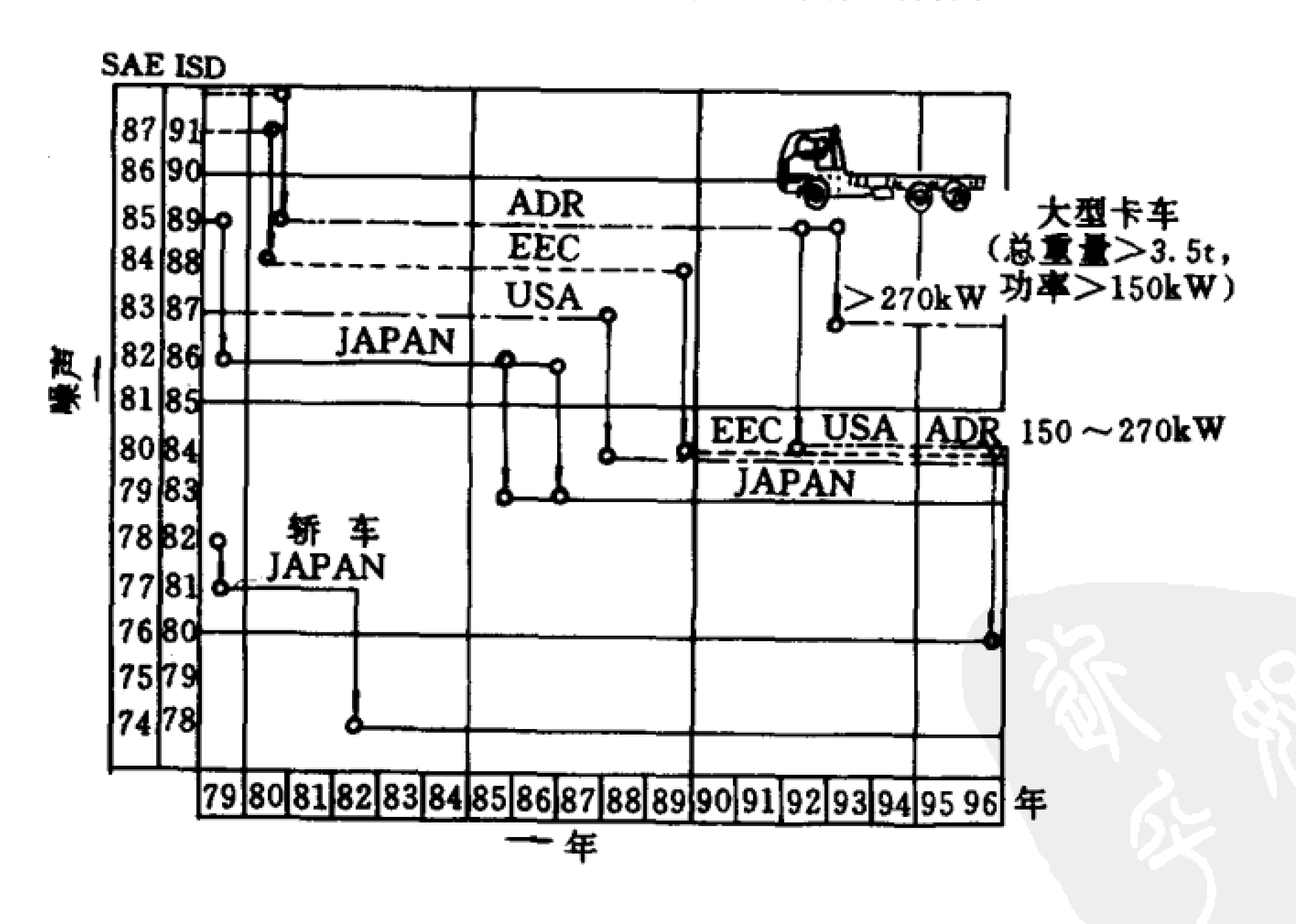


图43－8 车辆噪声降低的经纬(规制值的推移)(因各国的测定方法不同,故这里示出的不是精确的比较值)

相关技术的进步

发动机拥有这些问题，今后该向什么方向发展呢？

图 43 - 9 示出，发动机所要求的各种项目以及围绕发动机的新技术都对发展方向有影响。即，必须解决以排气、噪声、安全为第一课题的变化万千的大量要求。

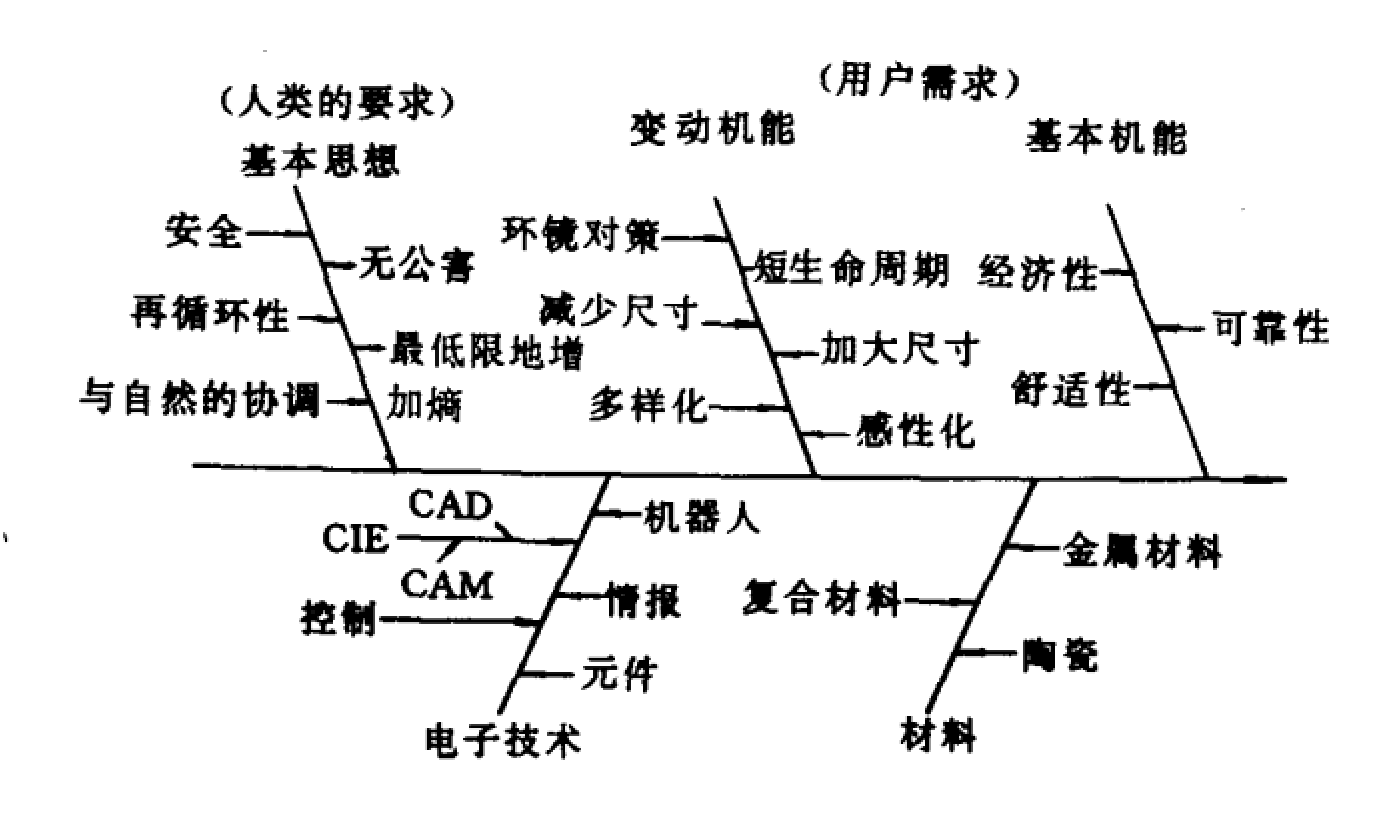


图 43 - 9　今后发动机的技术动向

另一方面，发动机的外围技术——电子技术和材料都取得了日新月异的进步。

各种电子控制已经在汽车上广泛应用，在开发方面备受重用。例如，作为噪声对策，在设计阶段可以模拟缸盖等的振动工况，保证实现轻量、坚固、无噪声和无振动的设计（图 43 - 10）。

另外，近年来材料进步也很显著。例如，1984 年美国 Polymotor 公司发表全塑料的赛车用发动机，使全世界震惊（2L、318hp/

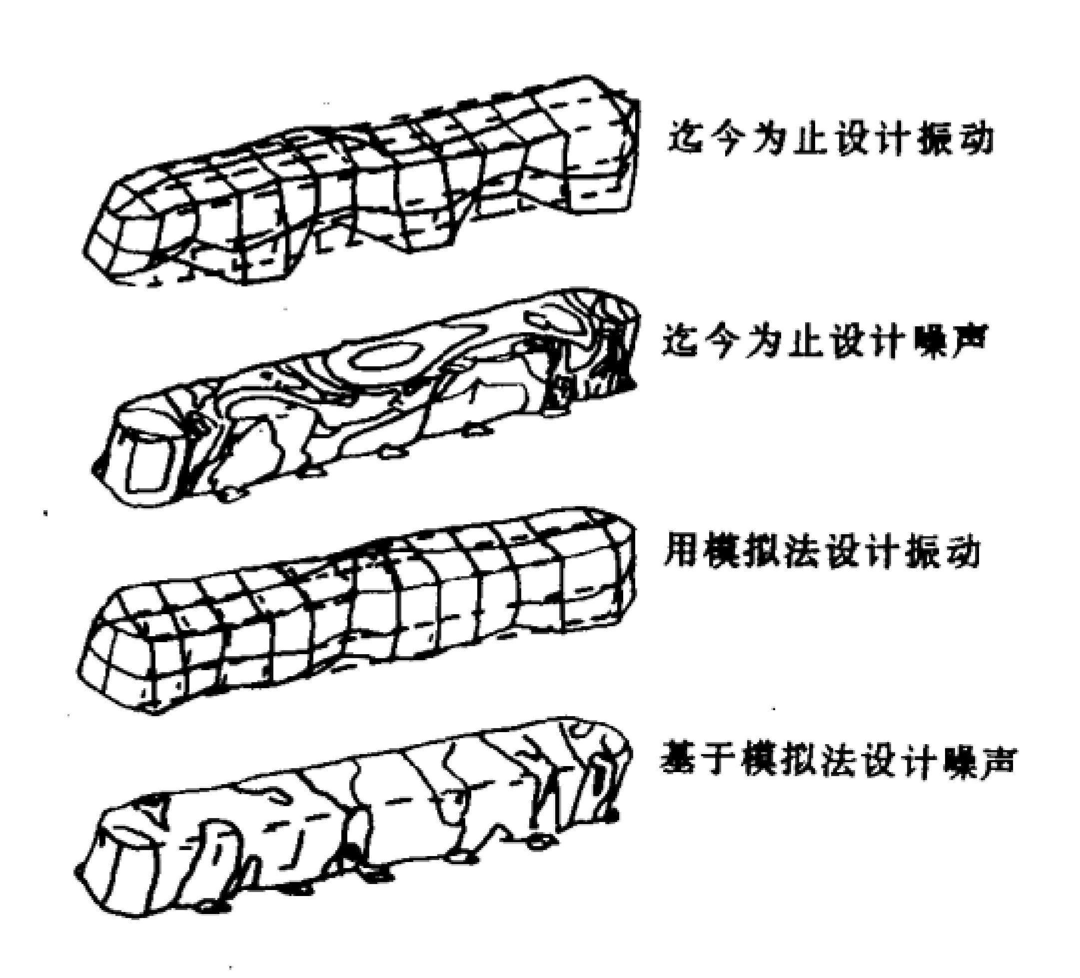


图 43 - 10　采用最新的模拟分解，在设计阶段降噪措施举例（气缸盖罩的例子）

9500r・min^{-1}）。该发动机从活塞到连杆、气阀系等全都是用称作多尔纶的塑料制作的，并且在竞技中跑完全程（照片 43 - 2）。除了塑料以外，许多复合材料、金属材料或陶瓷材料等的迅速发展，为今后发动机的发展提供了无限的希望。

触媒与触媒发动机

传统的发动机都是单纯地使燃油爆发，结果不得不想方设法对所排放的有害气体加以控制。但是，能不能想出再好一点的方法，作为转换自然界里的物质，获得能量的方法，以便最小限度地增加熵，而且不排出有害物质呢？针对以往的单纯爆发，例如如果有效地配置触媒装置，提取能量，那么这种发动机只排放能为自然界接受的净化气体吗？将这一概念与现在的单纯爆发之对比示于图 43 - 11。

照片 43 - 2　全塑料发动机。Polymotor 公司制，2L、318hp/9500r・min^{-1}

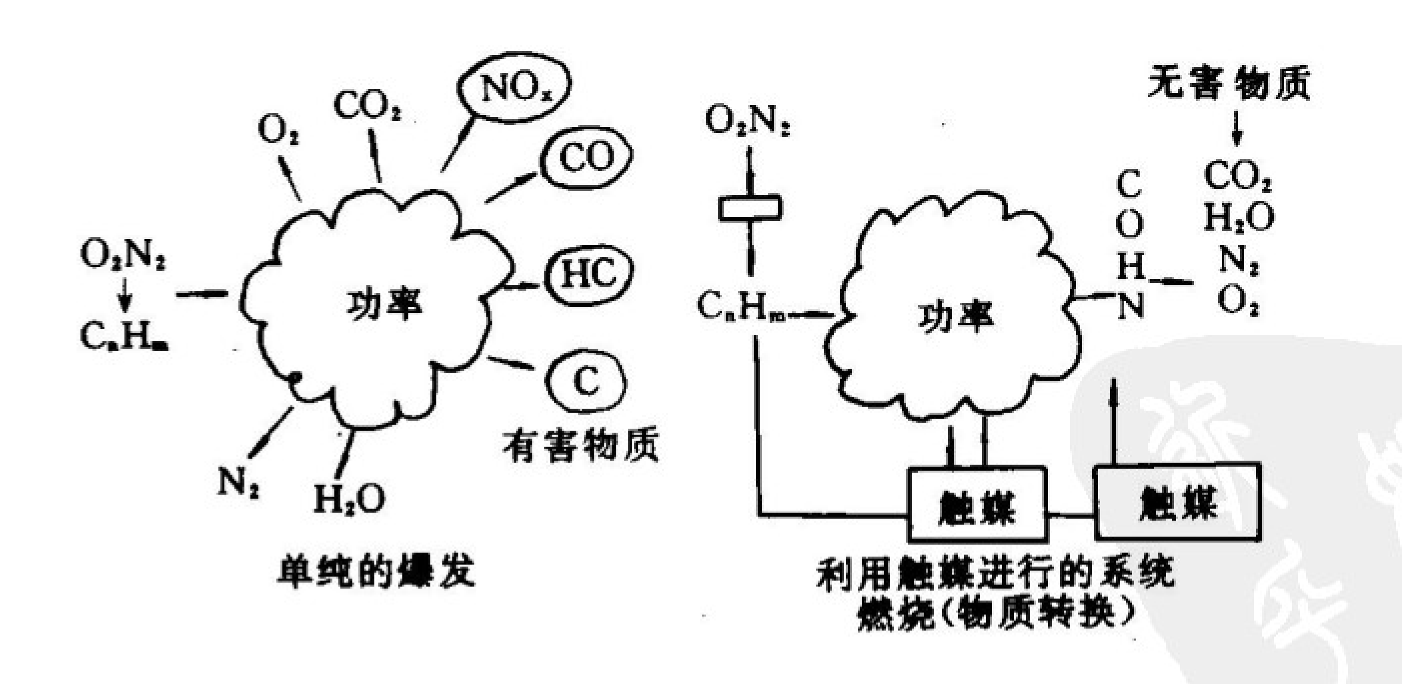


图 43 - 11　单纯的爆发与系统的物质转化

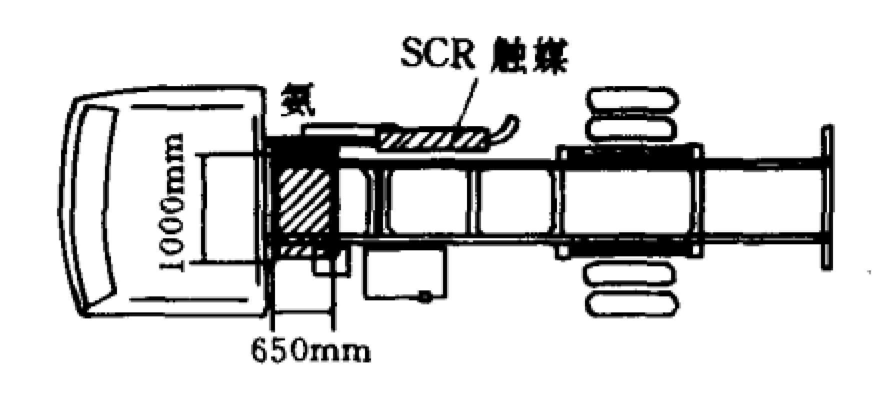
现在，汽油机采用触媒净化排气是极为普遍的。常见的有称作三元触媒的，用陶瓷载体即母体支撑铂-铑结构的装置。使用触媒使汽油和空气按正好反应的比例（理论混合比）燃烧，则 NO_x、HC、CO 都被一网打尽。但是，柴油机按照理论混合比不能完全燃烧（参考 32 章），故无法使用对汽油机行之有效的触媒。也就是说，影响柴油机使用触媒的障碍在于，柴油机的空气量总是大于使所喷射的燃油正好燃烧所需的空气量。即使在这种过剩空气的条件下来降低 NO_x 的触媒，如后述，只能把氨作为还原剂来使用，这是始料未及的。但是，自 1990 年当时的宫崎大学的岩本伸司教授使用经过某种处理的沸石，在氧气过剩的条件下，成功地降低了 NO 的排放量以来，直至今天由许多研究人员进行了各种尝试，很遗憾，尚未达到在发动机上应用的地步。另一方面，由于氨有剧毒，故一般的汽车上尚不能使用，因此只限于在发电站等地方定点使用。

ACE 从根本上解析了根据物质转换而提取能量的方法，其构想是从车载的燃料中制取氨，用氨来克服 NO_x，还把在反应过程中生成的 CO 喷射到柴油机的燃烧室内，可使排放的黑烟显著降低。构成基础的柴油机不必担心 NO_x，又可在油耗最小的条件下运转。把这种概念命名为“触媒发动机”，经研究找出了实现的可能性。即使在现在，ACE 仍在孜孜不倦地追求（附录 A43 - 2）。基于此概念的车辆设计如图 43 - 12 所示。

此项研究的最终目标是开发出，例如用氢气等作燃料，将熵的增加控制在最小限度（使油耗最少），排放出自然界能够接受的净化发动机。

与自然协调的科学技术

近年来，科学技术的进步，不单纯体现在发动机上，但是由于发动机的发展，使我们享受到了无限的方便与幸福。另一方面，



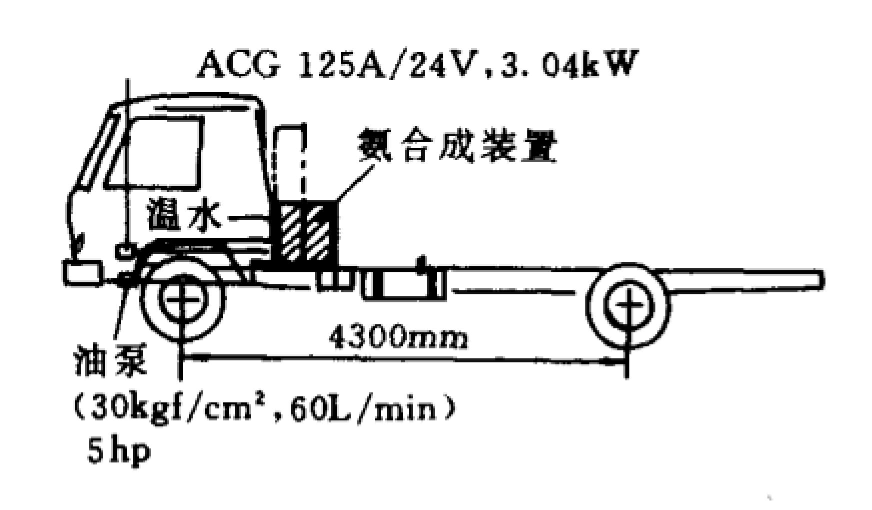


图 43-12 装有触媒发动机的载货汽车概念图

随之而来的排气污染、安全等阴暗面也突出出来。本来发动机是17世纪赫更斯想把人类从苯重的体力劳动中解放出来的人道主义的产物(参考第一章),但它往往难免走向否定人性的方向上去。

西欧的合理主义、科学技术的出发点就是与自然对峙,征服自然。沿着这一方向发展到今天。为凡尔赛宫庭院的大量用水所迫,产生了对动力设备的需求。照片43-3是日本庭园的代表——后乐园。园内碧清的流水,是从流向罔山的旭川引来的,故不用动力。这是在自然之中,改造自然的典范。日本的文化本来就是尽量使自然保持其本来姿态,与自然协调一致,而不是与自然对抗。今后的科学技术有必要揉进日本文化的核心——与自然协调、存在于自然之中的形态。另一方面,由笛卡儿发明的逻辑、数理统计分析的构想是科学技术的出发点,如果没有这一构想,也就不会有科学技术赖以发展的独创性。

我想今后的科学技术应该在笛卡儿的体系中融入日本方式的思想。即必须以两种体系合二为一的思想作为基础。然而,发动



照片 43－3　溶汇于自然之中的日本庭园（后乐园，可眺望冈山城）

机是由克里斯琴·赫更斯构想出来的，其父康斯坦丁·赫更斯直接受到了当时移居荷兰的笛卡儿思想的薰陶。说来发动机是笛卡儿的思想作为技术成果的一个具体体现。到今天，以笛卡儿思想为基础，科学技术不断地发展。还应该把日本的思想也融汇进去（图 43－13）。

1967 年阿琴·凯斯特勒（Arther Kostler）提出了波洛尼克斯概念。其含义是使过去的各种技术都朝着与整个环境相协调的方向发展，不外乎在笛卡儿的体系中又汇入了日本的思想。我们的技术必须朝着这一方向发展。

当今，地球的北半侧更多地享受了科学技术的恩惠。而居住在其它地区的人们也渴望科学技术能赐福于他们。下一代的科学技术有必要纠正这一偏向，与地球这一自然协调一致。今天，给

人类提供方便的发动机必须率先开路。技术工作者的工作和理想是无限的。

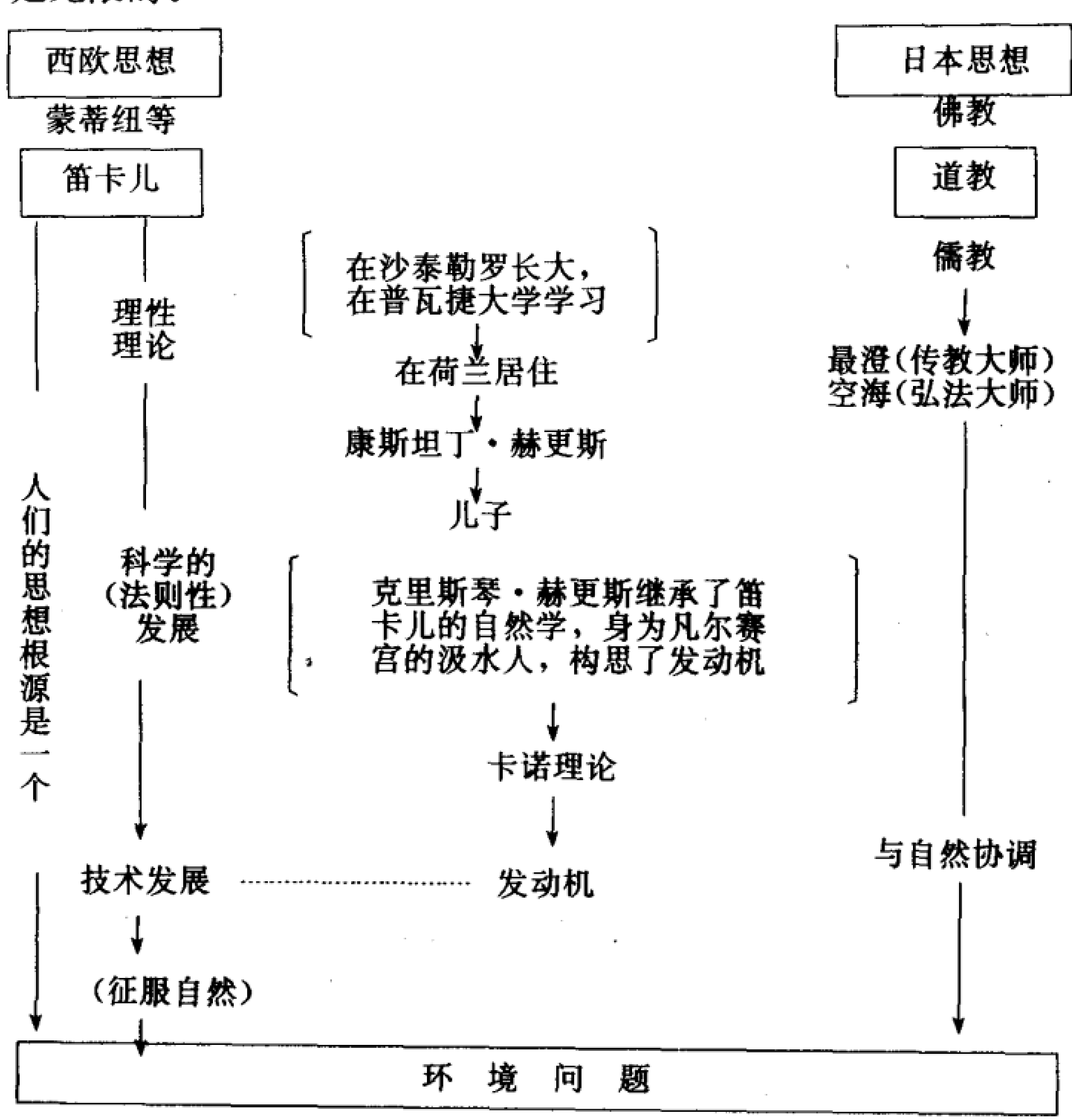


图43-13 今后科学技术应按笛卡儿思想与日本思想的合二为一思想来发展。即波洛尼克斯概念

附录A43-1 超高压燃油喷射燃烧

如果燃油的喷射压力采用超高压(150～250MPa)，那么燃烧状况将有很大改变。如图A43-1所示，微粒大幅度地降低。ACE在观察到了这种燃烧状况的同时，还发现了几个前所未知的现象。

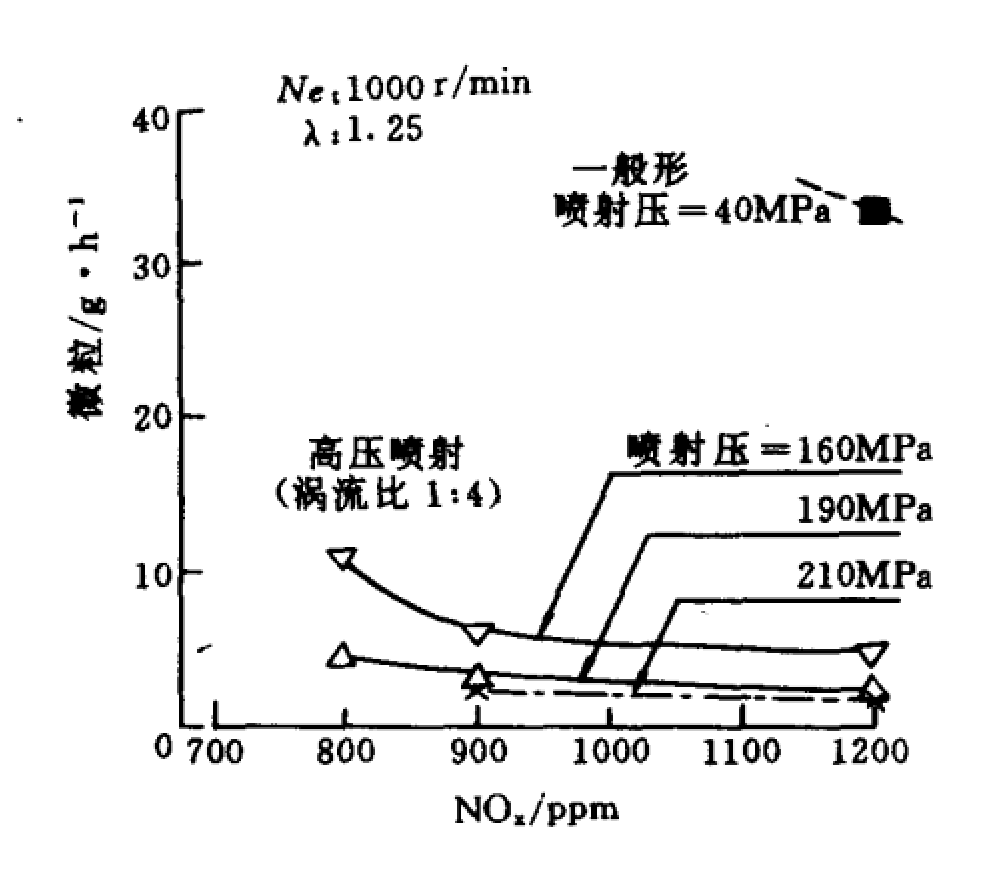


图 A43 - 1　采用高压喷射，微粒的排放量大幅度地降低了

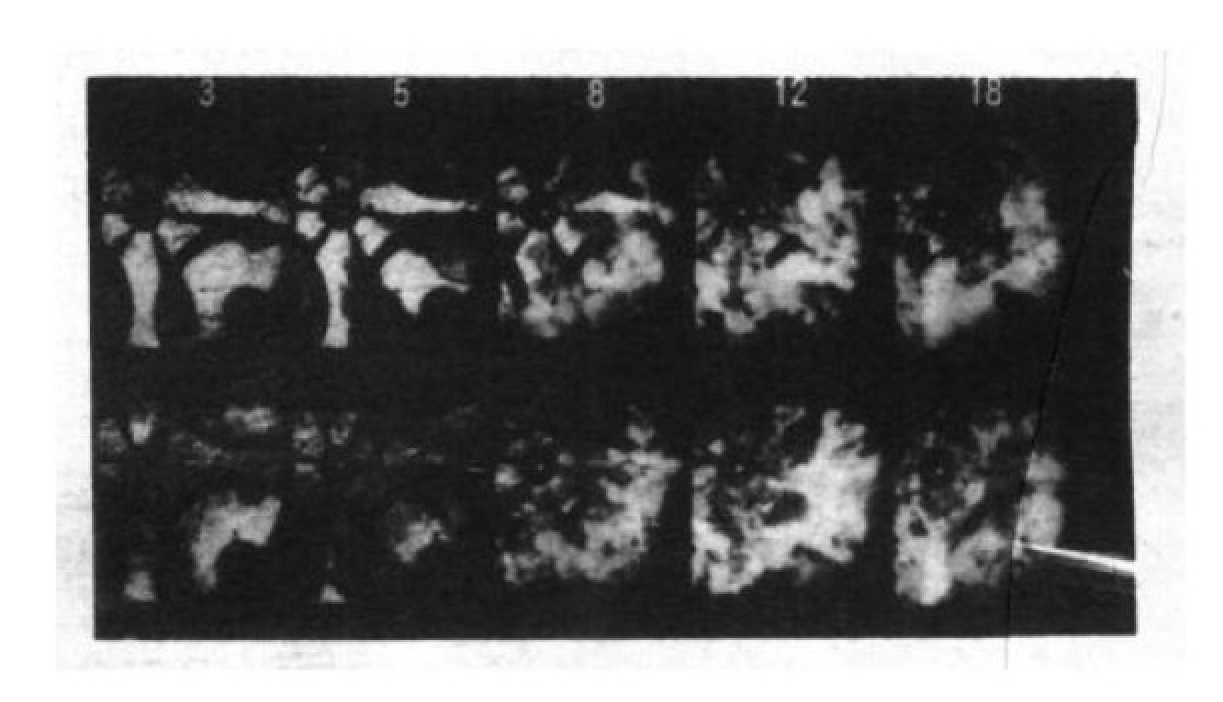
直接喷射式燃烧大致可分成如下两种方式：一是利用涡流使燃油喷雾扩散着火的方式；一是不采用涡流，而是利用比较高的燃油喷射压力（90～100MPa）使喷雾扩散着火方式，这种方式主要在美国盛行。不使用涡流的方式（Quiescent Combustion System）适合高压的状况，而对于超高压状况，涡流是怎样作用的，也已经查明。

照片 A43 - 1 是用高速摄影拍下的涡流大小对燃烧状态的影响。从照片上看，涡流强大的，由于空气流动，喷雾被搅乱、扩散开，看上去燃烧状态良好。然而，如图 A43 - 2 所示，当涡流强大时，油耗、黑烟和 NO_x 的排放均增加。燃烧的机理是怎样的呢？将迄今为止许多研究人员有关燃油喷射与燃烧的研究结果归纳整理于图 A43 - 3。参考这些公式，超高压燃烧喷射的燃烧机理可作如下考虑。

首先，由于高压化喷口直径变小，所喷射的高速喷流把周围的空气迅速引入喷雾中，在喷雾内部产生了强大的紊流，液滴急

喷射后的曲轴角度℃A

涡流方向
150MPa
0.17×6
S·R0.9
（涡流比）



照片A43-1　从照片上看，空气流动（涡流）强大者，看上去似乎燃烧状况良好

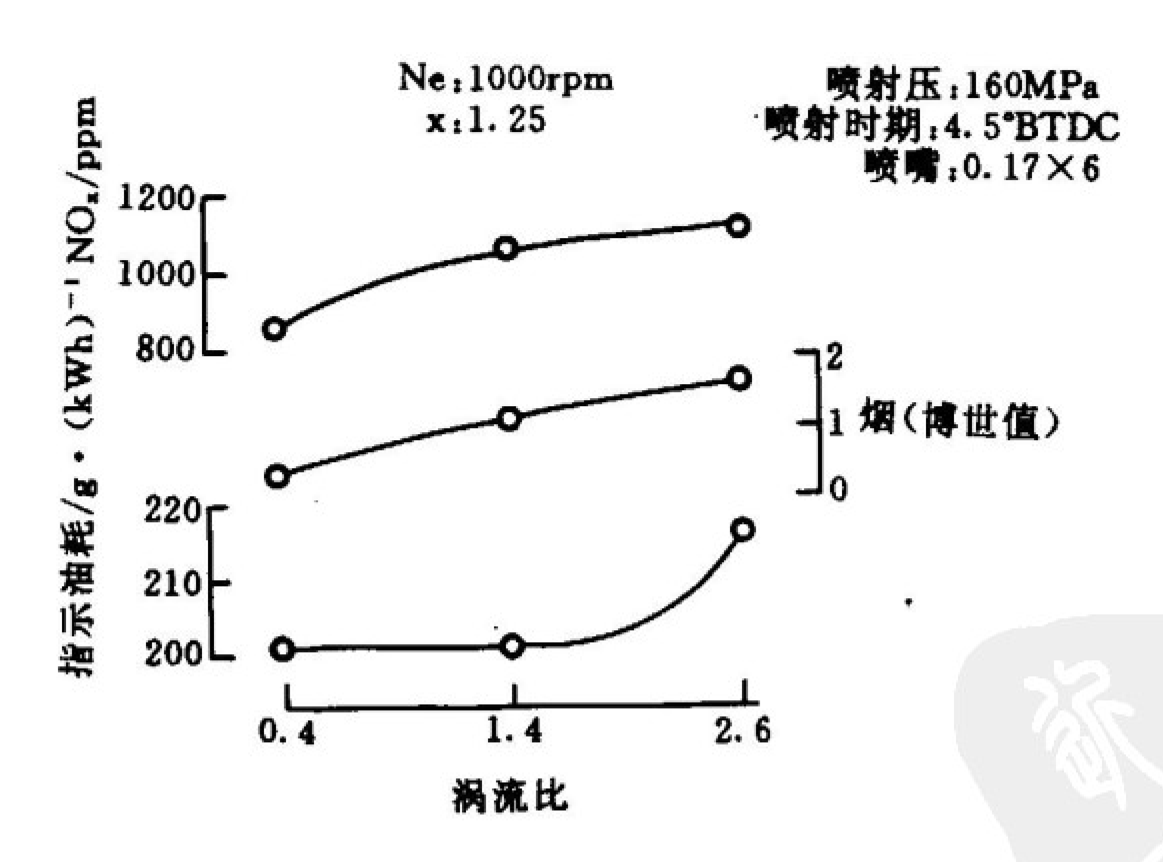
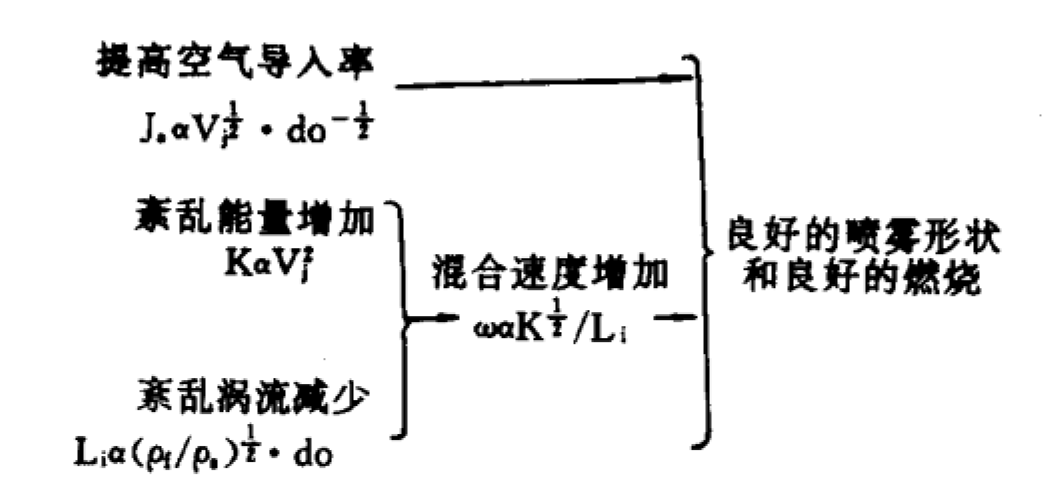


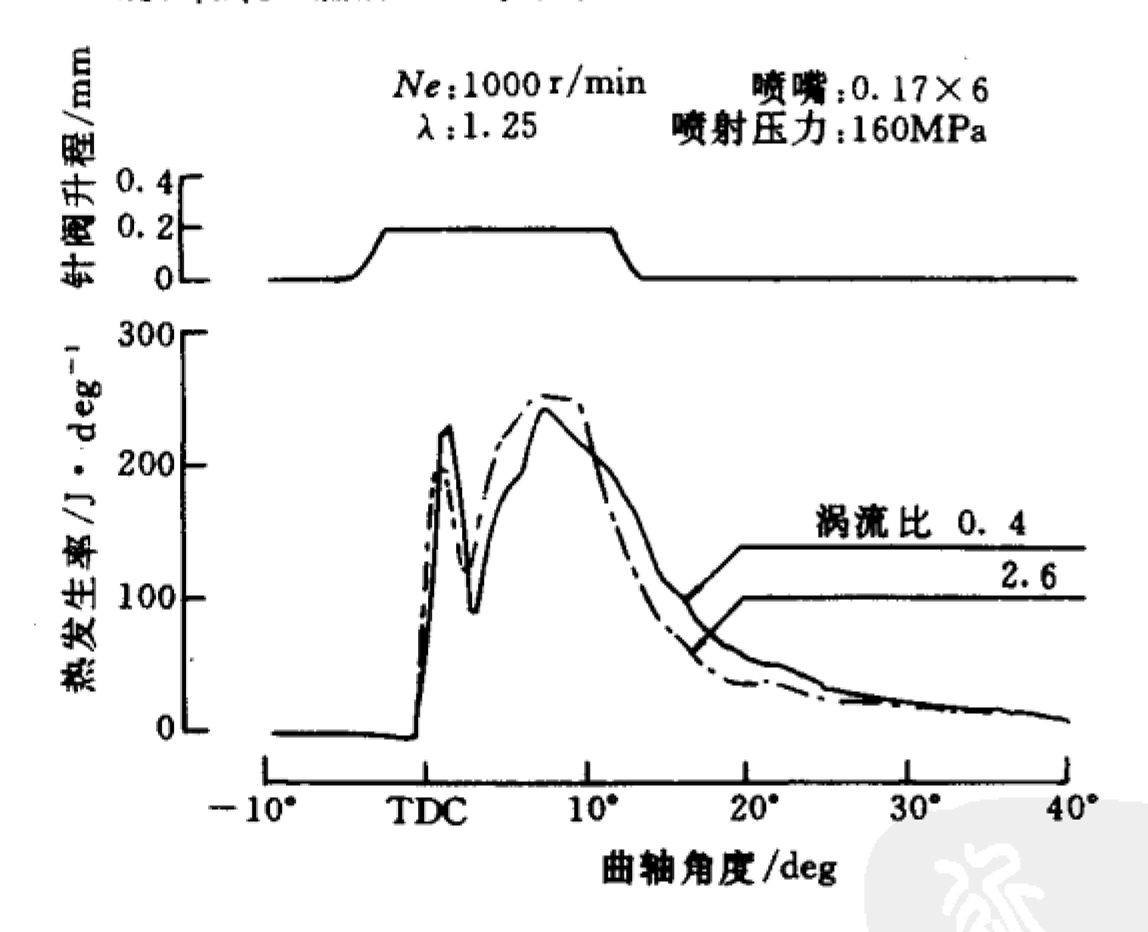
图 A43-2　采用高压喷射时，空气流动产生逆作用

剧蒸发，与空气混合。由于这个缘故，造成局部冷却和喷雾断续效果，在喷雾附近达不到着火程度，在喷雾下流的燃烧室壁面附



图A43 - 3　高压燃油喷射的动作

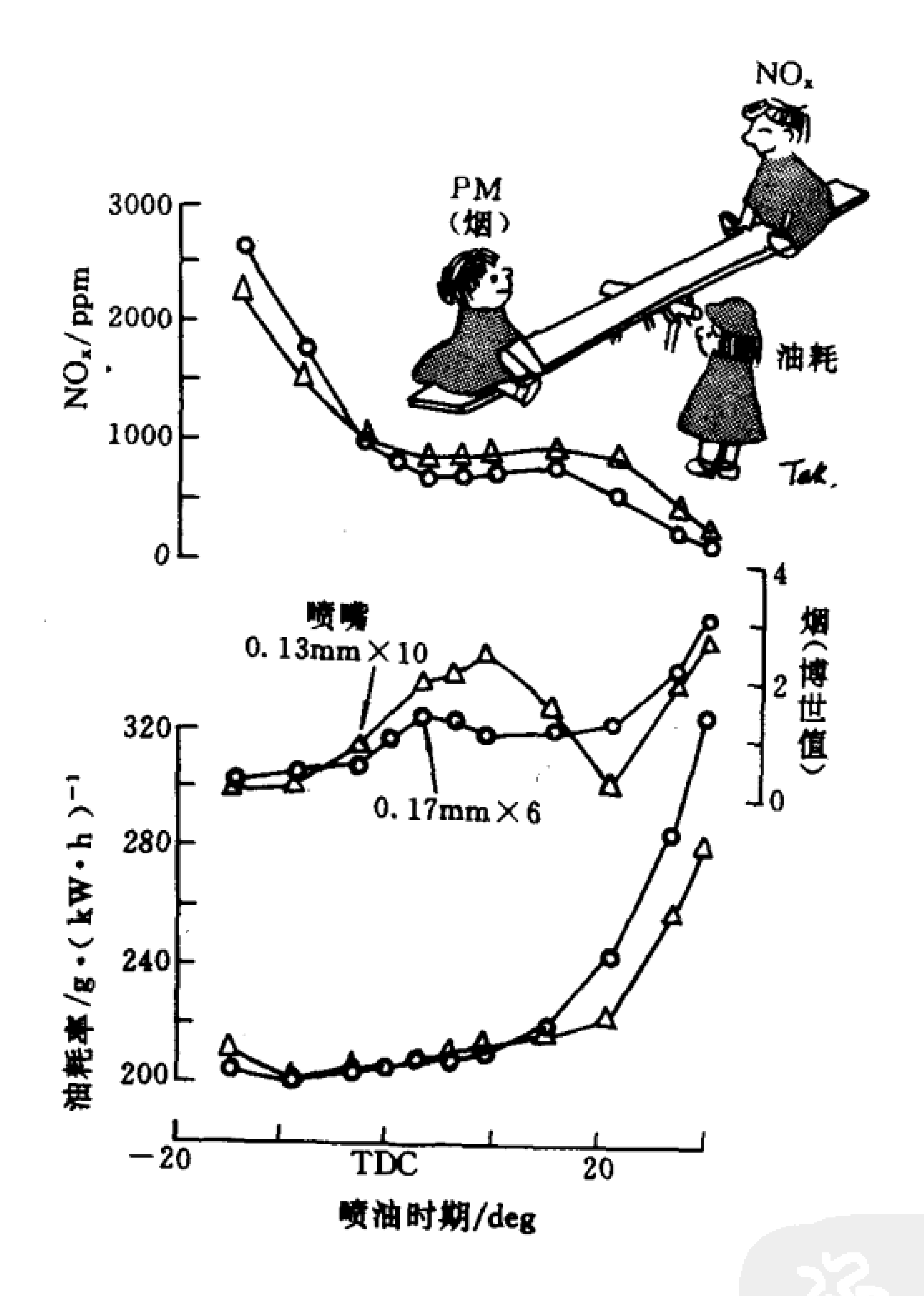
js 空气导入率；V_i，燃油喷出速度；do，喷嘴口直径；K，紊乱能量；L_i，紊乱涡流的大小；ω，涡流混合速度；ρ_f/ρ_a，燃油、空气密度



图A43 - 4　涡流大者，看上去燃烧状态良好。但一期燃烧火焰小，受它影响；二期燃烧中途变大，故 NO_x 排放量大，而且后期燃烧不完全，黑烟增多

近才着火。从图中的式子可知，在此期间紊流能量增加，紊乱的规模变小，因而促进了空气与燃油的混合，燃烧变得活泼起来，短时间内燃烧就完了。

反之，如果在这种条件下，涡流强大，妨碍了相对于喷雾的空气导入，造成局部性的早期点火，如图 A43 - 4 所示，一期燃烧变小，估计会影响燃烧后期，造成 NO_x 值高、油耗大、黑烟多的后果。



图A43 - 5　采用导向喷射，NO_x 降低了。但一度引退的敌人（黑烟）却与新的同伙（油耗）勾搭在一起出洞了。

导向喷射的特性变化示于图 A43 - 5，如前所述，虽说 NO_x 的排放量减少了，但其它特性急剧恶化了。但是，稍许改变一下规

格，燃烧特性就会发生微妙的变化，推测要想制服劲敌，需要控制这种变化。

附录 A43 - 2　触媒发动机

图 A43 - 6 为有数的几个构思中的一例。今天，效率最好的发动机燃烧，形态是柴油机燃烧。但它势必生成氮氧化物（NO_x）。因而，分出一部分燃烧来制取氨，用它来制服即将产生的 NO_x。

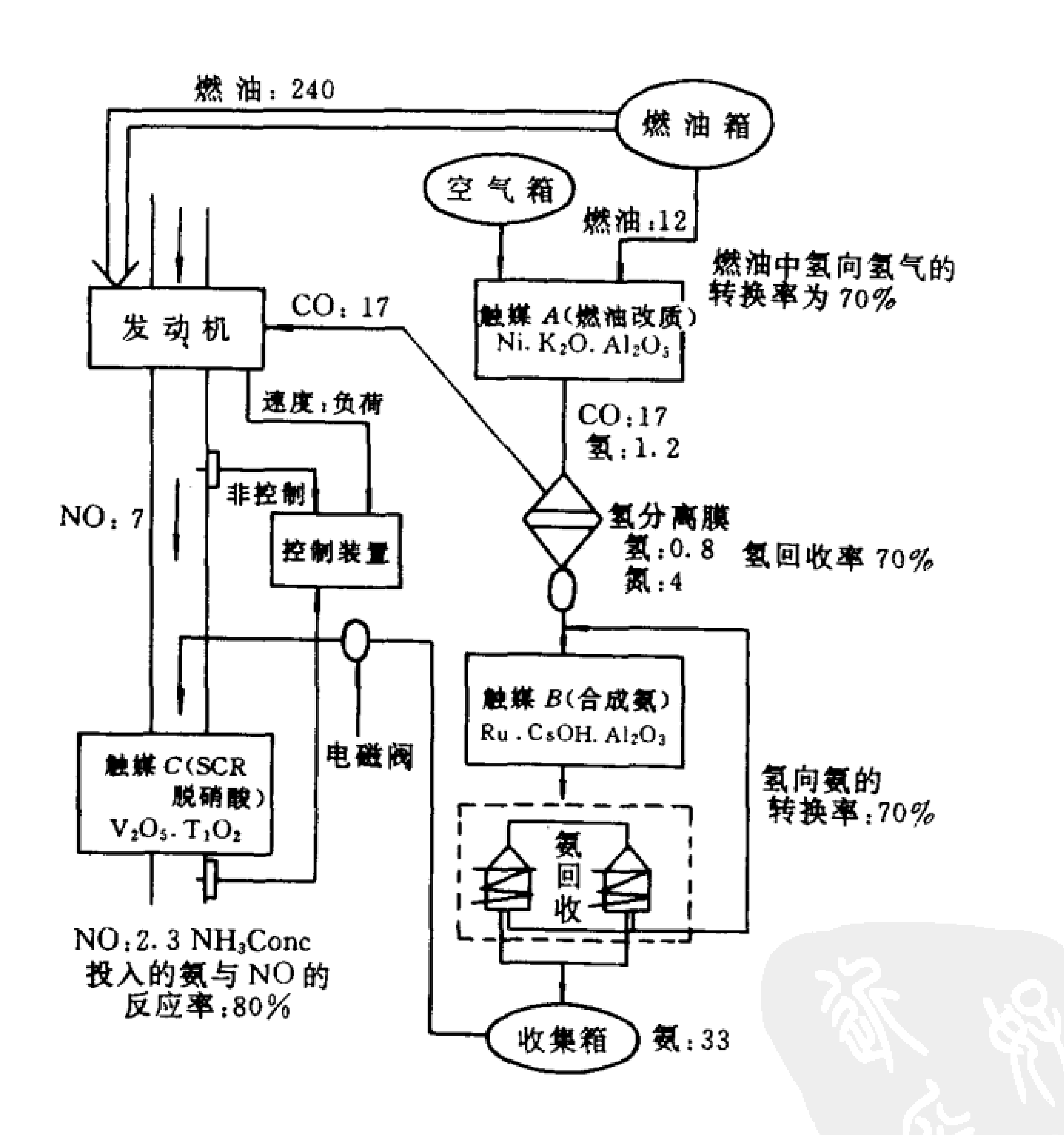


图 A43 - 6　触媒发动机总体结构框图与各成分的跟踪（单位：g/kW · h）

图中，触媒罐 A 中，极少的一部分燃油分解成氢气和一氧化碳，仅氢气通过氢气分离膜析出。剩下的一氧化碳被发动机吸入。

另一方面，析出的氢气被导入触媒罐B制作氨气。氨气通过触媒罐C与排气反应，把排气中的NO_x分解成氮气和水，排到大气中去。

今天，柴油机为了减少NO_x的排放量，不得不滞后喷油期(燃油开始喷射时间，参考A11－2)，降低燃烧温度。因而在使用中还得忍受热效率的不足。而触媒发动机可以不考虑NO_x，在最高运转条件下，从发动机获取能量。

结语（《发动机的浪漫》搁笔）

当知晓前人的成败以及倾注的满腔热忱时，更何况接触到前人的作品时，怎能不感动得五体投地呢？但是，随着时光的流逝，人的感情也会变得淡漠，记忆也会变得模糊。因此，作为技术人员应该把握难能可贵的激情，把堪为平素自省的精神食粮的点点滴滴记录下来。不过，一旦想把它整理成文时以平时都忙得不可开交之身，却又很难做系统的整理。

此文在内容上难免有不尽人意之处，或者谬误之处，如果时间再宽裕些的话，很想仔细推敲。现在的文章有些生硬，深感愧疚，乞求大家宽容。

文中把几个产品当作失败之作，用了较多的笔墨。当被问及败笔在何处时，则往往无言以对。由于错综复杂的原因，很可能未被认可的产品大获成功，首肯的产品却是短命的。

甚至对自己了解的产品，当出现故障时究其真正原因，往往还会含含糊糊，捉摸不清，更何况凭借臆断去考证久远的事例，恐更难免有不逊的毁谤。但是，我认为对技术的足迹作相应的分析和评价，即使在真实性略有欠缺，但仍不失为对现实反省的源泉。

向把全部心血都倾注于技术的前人合掌致敬，就此搁笔。

最后向为此书的出版付出辛勤的劳动，大力协助的各位致以深深的谢意。

1988 年 8 月

著者

〔著者简历〕

铃木　孝

1928年出生于长野市，1952年毕业于东北大学工学系。同年，进入日野汽车工业株式会社，从事发动机的设计、开发。历任康特萨900、1300以及日野普罗特赛车用汽油机和日野漫游者、红色发动机系列等柴油机的设计主任等职。1978年由于HMMS (Hino Micro Mixing System) 的研究，荣获日本科学技术厅颁发的研究成就奖。1987年新燃烧系统研究所成立，兼任社长。1988年荣获美国机械学会授予的Calvin W. Rice Lecture奖，同年获美国汽车工程师协会授予的Forest R. McFarland Award奖。现任日野汽车工业股份有限公司副社长，新燃烧系统研究所董事长、工学博士。著有《发动机的心》(1980年)、《汽车工学全集，柴油发动机》(1980年与人合著)。

